

ACADEMIA DE ARTILLERÍA.

CURSO

DE

MECANICA APLICADA A LAS MÁQUINAS.

MAQUINAS DE VAPOR.

LECCIONES ORALES ESPLICADAS

POR

D. ARTEMIO PEREZ,

Capitan del Cuerpo.

SEGOVIA.

IMPRESA DE D. PEDRO ONDERO, CALLE REAL, 41.

1868.



ACADEMIA DE CIENCIAS

CURSO

MÁQUINAS DE VAPOR

MÁQUINAS DE VAPOR

LECCIONES ORALES DESARROLLADAS

por D. ANTON JIMÉNEZ

T. 135078
C. 1209662



ACADEMIA DE ARTILLERÍA.

CURSO

DE

MECANICA APLICADA A LAS MAQUINAS.

MAQUINAS DE VAPOR.

LECCIONES ORALES ESPLICADAS

POR

D. ARTEMIO PEREZ,

Capitan del Cuerpo.

SEGOVIA.

IMPRESA DE D. PEDRO ONDERO, CALLE REAL, 42.

1868.

ACADEMIA DE ARQUITECTURA

CURSO

MAQUINAS A VAPOR

MAQUINAS DE VAPOR

Estas lecciones han sido declaradas de texto en
nuestra Academia por orden del Excmo. Sr. Direc-
tor general del Cuerpo, en 17 de Octubre de 1864.

PLANCHAS

U. I. P. E. R. E. S. E.



W. 3

R. 128507

ADVERTENCIA.

Reconocida por el Jefe superior del Cuerpo la conveniencia de armonizar los cursos de aplicación con los meramente especulativos, y la de dar á unos y otros aquel grado de desarrollo que exigen los adelantos de la *industria en general* y particularmente la *militar* que tiene el Cuerpo á su cargo, uno de los que reclaman modificaciones mas radicales, así en los textos como en la enseñanza, es sin duda alguna el de *Mecánica aplicada á las máquinas*.

La falta de una obra que, condensando con claridad y precision los principios fundamentales de la ciencia, comprenda así por las teorías como por las aplicaciones, cuanto en esta parte pueda necesitar un Oficial de Artillería, se viene supliendo hoy, del mejor modo posible, con esplicaciones orales y escritos dados por el profesor de la clase.

Los inconvenientes de este proceder no pueden ocultarse á nadie, especialmente á los que hayan ejercido el magisterio: tales adiciones acompañadas siempre de supresiones en el texto, hacen penoso el estudio; pues alterada mas ó menos la unidad de plan del autor, no es dable al discípulo apoderarse fácilmente del espíritu que

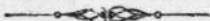
:

domina, y de aquí que no alcance, aun á costa de mayores esfuerzos, todo el aprovechamiento que fuera de desear.

Sin otros títulos que tener á mi cargo, hace pocos meses, la clase de *Mecánica aplicada á las máquinas*, he sido designado por el Excmo. Sr. Director general del Cuerpo para redactar las lecciones que comprende esta asignatura y que han de servir de texto en nuestra Academia.

Solamente tan fuerte deber, el de la obediencia, ha podido impelerme á tomar la pluma, siquiera sea para ordenar y reunir bajo un cuerpo de doctrina los conocimientos que hayan de constituirle.

Agotada la tirada del texto que hoy sirve de guia al tratar de las *máquinas de vapor*, y en la necesidad de reformarlo, ya llenando ciertos vacíos ó ya modificando la esposicion de algunos puntos para facilitar el estudio del conjunto, se ha dispuesto que, con preferencia á otras, se redacten las lecciones relativas á esta parte del curso.



CURSO

DE

MECANICA APLICADA A LAS MAQUINAS.

MÁQUINAS DE VAPOR.

LECCION 1.ª

SUMARIO.

Consideraciones generales sobre la formacion del vapor de agua.—Relacion entre la presion y temperatura en los vapores saturados.—Leyes de Mariotte y Gay-Lussac.—Volumen especifico.—Relacion entre los volúmenes y tensiones de los vapores saturados.—Peso de un metro cúbico de vapor y cuestion inversa.—Calores especificos y latentes.—Cantidad de agua necesaria para condensar un kilogramo de vapor.—Potencias ó poderes caloríficos de los combustibles.—Cantidad de agua vaporizada por un kilogramo de combustible.

1. Consideraciones generales sobre la formacion del vapor de agua.—El agua, como cualquier otro líquido, cuando pasa al estado de fluido aeriforme recibe el nombre de *vapor*.

Siendo del mayor interés el estudio de este fenómeno, conviene recordar las variadas circunstancias que pueden tener lugar al realizarse.

Supongamos que un vaso, en comunicacion con la

atmósfera, contiene una cierta cantidad de agua; sabido es que, despues de un tiempo mas ó menos largo, el líquido, por baja que sea su temperatura, desaparece por completo, lenta é insensiblemente, en forma de vapor. Si por el contrario, el vaso se somete á la accion del fuego, la trasformacion del agua en vapor se presenta ostensible y con caractéres propios; muy pronto se observa, que de la parte del líquido en contacto con las paredes calentadas, se desprenden pequeñas burbujas de vapor, que ascendiendo con mas ó menos rapidez, vienen á reventar en la superficie libre: á medida que el líquido va ganando temperatura, por consecuencia de la mayor que adquiere la vasija, aumentan aquellas á su vez en número y dimensiones, llegando á verificarse la ascension, tumultuosa y precipitadamente.

Aunque el fenómeno de la trasformacion del agua en vapor recibe en general el nombre de *vaporizacion*, designase mas particularmente por *evaporacion*, el hecho cumpliéndose segun el primer supuesto, y por *ebullicion* en el segundo.

La esperiencia ha hecho ver que, despues de presentarse esta última, todo aumento en la accion del fuego sobre las paredes de la vasija, no altera la tension y temperatura del vapor: en general, para que la *ebullicion* tenga lugar, es preciso que el vapor alcance una temperatura, á la que corresponda una tension, igual al menos, á la presion exterior.

Para cada líquido, cuando las circunstancias son las mismas, la tension y temperatura permanecen constantes.

En el vacío el agua se trasforma rápidamente en vapor.

Calentada en un vaso agua pura, sobre cuya superficie libre la presión atmosférica sea de $0,76$, dicha agua entra en ebullición y se trasforma en vapor, á 100° del termómetro centígrado de mercurio.

Si de este vapor tomamos un volumen cualquiera y mantenemos su temperatura á los 100° que tiene, su reducción á uno menor, no producirá aumento en la tensión primitiva, ni disminución en su densidad.

La producción del vapor para emplearlo como fuerza motriz en la industria, tiene lugar en vasos cerrados, variables en forma y capacidad: el estudio del fenómeno, bajo tal supuesto, es de la más alta importancia.

Tomemos pues, una vasija con agua, dejando sin llenar parte de su capacidad y sin comunicación con la atmósfera—circunstancias que concurren en las calderas de las máquinas de vapor—y sométase á la acción del fuego, que supondremos cada vez más intenso; la experiencia ha hecho ver que, mientras exista agua, tanto esta como el vapor formado, alcanzan temperatura igual, si bien creciente, para cada uno de aquellos grados de intensidad, correspondiendo á cada temperatura, una tensión particular: á 100° , el vapor equilibra á una columna de mercurio de $0,76$ de altura.

Si fijándonos en este último caso se aumenta ó disminuye la capacidad de la vasija, pero manteniendo á 100° la temperatura del agua, se observará, que la cantidad de vapor aumenta ó disminuye también, equilibrando sin embargo su fuerza elástica, como cuando tenía el volú-

men primitivo, á una columna de mercurio de 0,^m76: análoga conclusion debe hacerse estensiva á todas las temperaturas y tensiones correspondientes, siempre, bien entendido, que la vasija conserve alguna cantidad de agua por pequeña que sea.

En tal supuesto, dedúcese de aquí, que la tension del vapor permanece siempre constante para una misma temperatura, y en una cierta relacion con ella, altérese ó no de cualquier modo su volúmen.

A los vapores cuyo carácter esencial es, para una temperatura dada, la invariabilidad en su tension y densidad, se les denomina *vapores saturados*, *vapores en estado de saturacion*, ó *vapores al máximun de densidad*.

Si un volúmen cualquiera de *vapor saturado*, pero sin estar en contacto con el agua, lo disminuimos por la compresion, sin alterar su temperatura, permanecerán las mismas que para aquel, la tension y densidad.

Si al mismo volúmen, en vez de disminuirlo, se le proporciona una capacidad mayor, pero conservándole su temperatura, la tension diferirá muy poco de la que resultaria aplicándole la ley de Mariotte.

Si dejando constante el volúmen de *vapor saturado*, recibe este un aumento ó disminucion de temperatura, en el primer supuesto; la tension de aquel—que pasa al estado de *vapor recalentado* y á conducirse como un gas permanente—esperimenta tambien un aumento para cuya determinacion es preciso tener en cuenta las leyes de Mariotte y Gay-Lussac; y en el segundo, se condensará una cierta cantidad, siendo lo que quede, *vapor saturado*

con la tension correspondiente á la nueva temperatura.

Despues de estas consideraciones fácil será deducir lo que sucederá, en los supuestos de variar á la vez volumen y temperatura.

Si el volúmen de vapor que venimos considerando tuviese en suspension alguna cantidad de agua—circunstancia que se presenta en el que se forma y circula en los aparatos industriales y á la que debe la denominacion de *vapor húmedo* que recibe en este caso—inútil parece indicar que mientras exista en contacto con ella, de cualquier modo que esto sea, se conducirá como *vapor saturado*, y de no estarlo, como acabamos de manifestar hace poco.

§ 2. **Relacion entre la presion y temperatura en los vapores saturados.**—El conocimiento, en los vapores saturados, de las tensiones correspondientes á temperaturas determinadas, es del mayor interés y base primordial para el cálculo y establecimiento de las máquinas de vapor. Con objeto de formar tablas de correspondencia entre unas y otras se han verificado en distintas épocas y por diversos sábios numerosas esperiencias.

Las ejecutadas por Regnault, con la prevision y escrupulosidad que tanto le distinguen, son las mas completas; los resultados—que llevan un sello de exactitud, de que carecen los encontrados con anterioridad á él—comprenden desde la temperatura (-32°), y de grado en grado, hasta la de 230° del termómetro centígrado, límite superior de sus esperiencias.

Estériles hasta hoy, todos los esfuerzos para determinar la ley teórica que enlaza á unas y otras, las investigaciones se han dirigido á encontrar fórmulas de interpolación que, con la mayor exactitud posible, den las cifras acusadas por la esperiencia.

De las siguientes, las de Regnault representan con gran aproximación los resultados de las verificadas por él; las demás, aunque con menor grado de exactitud, facilitan los cálculos y en tal concepto, son preferibles en ciertos casos.

Fórmulas de Regnault.	}	Log. $F = a + b m^t - c n^t$	}	F ... tensión en milímetros de mercurio.
		aplicable de 0° á 100°.		t ... temperatura en grados centígrados.
				a, b, c, m, n, son constantes que tienen los valores
				a = 4,7584580
				log. b = - 1,8659661
				log. c = 0,6116485
				log. m = 0,006865056
				log. n = - 0,0038751

VALORES DE LAS CONSTANTES.

Fórmulas de Regnault.	}	Log. $F = a - b m^{\frac{t+20}{175}} - c n^{\frac{t+20}{175}}$	}	a = 6,2640548
		aplicable de 100° á 250°		log. b = 0,4597745
				log. c = 0,6924551
				log. m = - 0,005950708
				log. n = - 0,001656158

Fórmula de Treügold.	}	$F = \left(\frac{t+75}{175} \right)^6$	}	F ... Fuerza elástica en atmósferas.
		$t = 175 \sqrt[6]{F - 75}$		t ... Temperatura en grados centígrados.
				De 1 á 25 atmósferas da resultados bastante aproximados a los de las esperiencias de Regnault.
				Hacia 15 atmósferas presenta la mayor divergencia.

Fórmula de Arago y Dulong.	$F = (0,007155 t + 0,2847)^5$ $t = 100 + \frac{\sqrt[5]{F} - 1}{0,007155}$	$F \dots$ Presion en atmósferas. $t \dots$ Temperatura en grados centigrados. De 1 á 25 atmósferas da resultados que se separan poco de los obtenidos por Regnault. Pasada la presion de 15 atmósferas, las diferencias aparecen mas sensibles.
----------------------------	--	--

Fórmula de Southern.	$F = 0,0034542 + \left(\frac{46,278 + t}{145,56} \right)^{5,13}$ $t = \frac{5,13}{145,56} \sqrt[5,13]{F - 0,0034542} - 46,278$	$F \dots$ Tension expresada en kilogramos por centimetro cuadrado. $t \dots$ Temperatura en grados centigrados. Aplicable á presiones menores que 1 atmósfera.
----------------------	---	--

Señalados § 1 los casos en que el vapor de agua se conduce como un gas permanente, recordemos las leyes de Mariotte y Gay-Lussac.

§ 3. **Ley de Mariotte.**—Segun esta ley, los volúmenes que ocupa una misma masa de gas, permaneciendo constante la temperatura, son inversamente proporcionales á las presiones que el gas soporta.

Siendo F y F' las presiones, V y V' los volúmenes, dicha ley quedará traducida en

$$\frac{V}{V'} = \frac{F'}{F} : \dots \dots \dots (1)$$

§ 4. **Ley de Gay-Lussac.**—Consiste esta, en la uniformidad de la dilatacion del aire, permaneciendo constante la presion, desde 0 á 100°, siendo su medida para cada grado, 0,00375 del volúmen á 0°.

Regnault ha hecho ver, que este coeficiente de dilatacion carece de exactitud, siendo distinto para cada gas ó vapor.

A falta de nuevas esperiencias, admitiremos para el vapor de agua el valor encontrado por aquel físico para el aire seco 0,00367, que difiere poco de los correspondientes á los demás gases que han sido objeto de análoga investigacion.

Representemos por V , V' , V'' los volúmenes á 0° , t'° y t''° , por α el coeficiente de dilatacion; la presion permanece la misma.

Segun la ley que nos ocupa, hecha estensiva para cualquiera temperatura, fuera de los límites 0° y 100° , tendremos: $V' = V(1 + \alpha t')$ y $V'' = V(1 + \alpha t'')$ de donde

$$V'' = V' \frac{272,48 + t''}{272,48 + t'} \dots\dots\dots (2)$$

Esta fórmula permite calcular el volúmen de un fluido elástico que, sometido á una tension constante, pasa de la temperatura t'° á la t''° .

Por las consideraciones espuestas acerca de los vapores saturados, tanto la ley de Mariotte como la de Gay-Lussac, tomadas aisladamente, no son aplicables á estos cuando se hallen en contacto con el agua; debiendo quedar escludidos tambien, si no lo estuvieran, los casos en que no abandonen el estado de saturacion.

§ 5. *Combinacion de las leyes de Mariotte y Gay-Lussac.* Representemos por F , la presion que se ejerce sobre un gas cuyo volúmen y temperatura son respectivamente V y t , se quiere calcular su volúmen V' cuando se halle sometido á una presion F' , y t se convierta en t' .

Si t permaneciese constante al pasar el gas de F á F' se tendria

$$VF = vF'$$

v representa el nuevo volúmen en este supuesto.

Y por la ley de Gay-Lussac:

$$V' = v \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t} = \frac{VF}{F'} \times \frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}$$

ó bien

$$\frac{V' F'}{VF} = \frac{272,48 + t'}{272,48 + t} \dots\dots\dots (3)$$

Si por F y t sustituimos los valores correspondientes á un volúmen V de vapor saturado, esta fórmula general nos permite determinar el cambio que experimentará aquel, cuando se conviertan en F' y t' pertenecientes á otro estado de saturacion. De manera que, de la combinacion de las leyes de Mariotte y Gay-Lussac, hemos obtenido la expresion ((3)) propia para los vapores al máximun de densidad.

§ 6. **Volúmen específico en funcion de la tension y temperatura.**—La misma fórmula ((3)) nos proporciona tambien el medio de averiguar la relacion que existe entre el volúmen de un vapor saturado, y el de agua que lo hubiese producido.

A este fin, si representamos por v el volúmen de este líquido que—trasformado en vapor á las tensiones F y F' y temperaturas correspondientes t, t' —ha producido los V, V' ; y designamos por μ, μ' los números que espresan la relacion entre aquellos y v , tendremos

$$V = \mu v \quad V' = \mu' v.$$

A los números μ, μ' los denominaremos indistintamente *volúmenes específicos ó relativos*, para no confundirlos con V, V' *volúmenes absolutos* del vapor.

Hecha la sustitucion; la ecuacion ((3)) se convertirá en

$$\frac{\mu' F'}{\mu F} = \frac{272,48 + t'}{272,48 + t},$$

y si por μ' (*) ponemos el valor correspondiente á $F'=1$ at. y $t'=0^\circ$ tendremos

$$\mu = 4,559 \frac{272,48 + t}{F} \dots\dots\dots (4)$$

fórmula en la que F representa atmósferas y t grados centígrados.

§ 7. *Volúmen específico en funcion de la tension.*—Encontradas, relaciones que ligan la temperatura y presion en los vapores al máximun de densidad, y la que dá el volúmen específico en funcion de la temperatura, la eliminacion de esta nos proporcionará nuevas fórmulas para hallar directamente aquel volúmen, conocida que sea la tension.

(*) Para encontrar el valor de μ' correspondiente á $F'=1$ atmósfera y $t'=0^\circ$, es preciso recordar: primero, que 1,295187 es, segun Regnault, el peso de un metro cúbico de aire seco á 0° y bajo la presion de una atmósfera; y segundo, que 0,6225 es tambien, segun el mismo fisico, la cantidad por que ha de multiplicarse la densidad del aire seco entre 0° y 100° para obtener la del vapor de agua en iguales condiciones de tension y temperatura.

Partiendo de estos datos el volúmen en metros cúbicos—si pudiera existir—de un kilogramo de vapor á 0° y tension atmosférica es

$$\frac{1}{1,295187 \times 0,6225} = 1,24222227958 \text{ metros cúbicos.}$$

Comparado este volúmen con el correspondiente á un kilogramo de agua al máximun de densidad, tendremos $\mu' = 1,242,22227958$.

Como puede observarse, las de Regnault § 2, no permiten la eliminacion de t , y aunque en las restantes sea posible, la forma de ellas con términos esponenciales, da lugar á fórmulas poco apropiadas para las aplicaciones; en su consecuencia, se han buscado directamente otras entre dichos volúmenes relativos y presiones correspondientes, siendo la propuesta por Navier:

$$\mu = \frac{1000}{0,09 + 0,0000484 \cdot F} \dots\dots\dots (5)$$

Esta sencilla fórmula, en la que F expresa en kilogramos la presión por metro cuadrado, no es suficientemente exacta para tensiones inferiores á 0,8 de atmósfera, como es fácil observar, comparando los valores deducidos de ella con los de la fórmula ((4)): para las superiores á 1 atmósfera hasta 8, prescindiendo de la divergencia, que se presenta hácia 2 atmósferas, da resultados que no difieren mucho de los verdaderos.

De las dos que siguen debidas ambas á Pambour la

$$\mu = \frac{20000000}{4200 + F} \dots\dots\dots (6)$$

sirve especialmente para presiones inferiores á 2 atmósferas, no debiendo sin embargo hacer uso de ella para las menores que 0,5 de atmósfera; para las superiores á 2, hasta 5,5, es también bastante aceptable.

La $\mu = \frac{21232000}{3020 + F} \dots\dots (7)$ proporciona

resultados que satisfacen cumplidamente las exigencias de la práctica para tensiones superiores á 2 atmósferas;

para las inferiores, á partir de 4 atmósfera, es muy inexacta.

F, en una y otra fórmula, tiene igual significacion que en la ((5)).

§ 8. **Relacion entre los volúmenes y tensiones de los vapores saturados.**—Dichas ecuaciones ((6)) y ((7)), que espresaremos de una manera general por

$$\mu = \frac{m}{n+F},$$

nos proporcionan el medio de resolver fácilmente el problema de averiguar el volúmen de una cantidad dada de vapor al máximun de densidad con la tension F, conocido que sea el que ocupe cuando esta última sea F' correspondiente á otro estado de saturacion.

A este fin, sustitúyase en vez de μ su valor $\frac{V}{v}$ y tendremos:

$$\mu = \frac{V}{v} = \frac{m}{n+F}$$

por igual razon:

$$\mu' = \frac{V'}{v} = \frac{m}{n+F'};$$

dividiendo una por otra

$$\frac{\mu}{\mu'} = \frac{V}{V'} = \frac{n+F'}{n+F}$$

de donde

$$(*) \quad V = V' \frac{n+F'}{n+F} \dots \dots \dots (8)$$

(*) Si m y n toman respectivamente los valores m' , n' cuando F se convierte en F', el de V será

$$V = V' \frac{m}{m'} \times \frac{n' + F'}{n + F}$$

Si de esta última ecuacion nos proponemos pasar á la que conviene segun la ley de Mariotte, basta hacer simplemente $n=0$.

Si se la quiere derivar de la relacion $\mu = \frac{m}{n+F}$, será preciso á mas de la condicion $n=0$, introducir otra nueva, $m = \mu' F'$.

§ 9. **Peso de un metro cúbico de vapor y cuestion inversa.**—La determinacion del peso de un metro cúbico de vapor á distintos grados de saturacion, y el problema inverso de calcular el volúmen que tendrá un peso dado de aquel, son cuestiones tambien, de no escaso interés en el estudio de las máquinas de vapor: la ecuacion ((3)) nos indica la manera de resolverlas.

Si en ella introducimos los pesos de la unidad de volúmen, representados por p y p' tendremos:

$$Vp = V'p'$$

$$\frac{p}{p'} \times \frac{F'}{F} = \frac{272,48 + t'}{272,48 + t};$$

y si por p' (*) ponemos el de un metro cúbico de vapor para el que $t'=0^\circ$ y $F'=1$ at., ejecutadas todas las operaciones se obtendrá la fórmula

$$p = 219,349 \frac{F}{272,48 + t} \dots\dots\dots (9)$$

que permite, respecto á cualquier vapor saturado encon-

(*) El valor de p' se ha obtenido con el auxilio del encontrado en la nota del § 6, para el volúmen teórico correspondiente á 1 kilóg. de vapor á 0° y tension igual á una atmósfera

$$p' = 0,8050089075.$$

trar el peso correspondiente á aquella unidad de volúmen, siempre que se sustituya por F , espresada en atmósferas, y t , en grados centígrados, los valores que convengan al caso en cuestion.

Despues de esto, la cuestion inversa queda inmediatamente resuelta al considerar que, si p kilóg. es el peso de un metro cúbico de vapor, la espresion formular del volúmen correspondiente á *un kilógramo*, será llámndole V

$$V = \frac{1}{p} = 0,00456 \frac{272,48 + t}{F} \dots\dots (10)$$

§ 40. **Calores específicos y latentes.**—Sin entrar en digresion alguna, ajena de estas lecciones, acerca de la naturaleza íntima del calor, origen, como dice Poncelet, el mas importante y fecundo de las fuerzas, vamos á ocuparnos de aquellos de sus defectos, que tienen relacion mas inmediata con el fenómeno de la trasformacion del agua en vapor.

La *caloría*, unidad de medida del calor, es la cantidad que de este se necesita, para elevar de 0° á 1° , del termómetro centígrado, la temperatura de *un kilógramo* de agua pura.

El número de calorías que exige *un kilógramo* de un cuerpo cualquiera para aumentar la temperatura en 1° , es lo que se conoce por *calor específico ó capacidad calorífica*, que como ya sabemos, depende de la naturaleza de aquel y es variable con su temperatura inicial.

Los resultados de las esperiencias de Regnault, respecto á la capacidad calorífica del agua á distintos grados

de temperatura inicial desde 0° á 230°, están representados en la fórmula

$$C = t + 0,00002t^2 + 0,0000003t^3 \dots \quad (14)$$

en la que—indicando C número de calorías y t temperatura en grados centígrados—se observa, que mientras se necesita 1 caloría, prescindiendo de las cifras decimales del quinto orden, para el paso de 0° á 1°, son precisas para elevar el agua de 229° á 230°, 1,0566 de caloría.

La capacidad calorífica del aire atmosférico determinada por el mismo físico—variando las temperaturas desde (—30°) hasta 225°, y las presiones de 1 á 10 atmósferas—es con mucha aproximación 0,2377, ó menos exactamente 0,24 de la del agua.

Al pasar los cuerpos del estado sólido al líquido, y de este al gaseoso, desaparece, en el sentido de no hacerse sensible al termómetro, una cierta cantidad de calor cuya misión no es otra, al parecer, que modificar el estado molecular de aquellos; dicha cantidad de calor recibe el nombre de *calor latente*, y mas apropiado, *calor de liquefacción y calor de vaporización*, según tenga lugar uno ú otro de aquellos dos fenómenos.

Las esperiencias de Watt, repetidas por Clement y Desormes, indujeron á estos físicos, á establecer el principio, *que la cantidad de calor necesaria para transformar en vapor, bajo una presión cualquiera, un kilogramo de agua á 0°, era siempre constante é igual á 650 calorías.*

Los resultados de las realizadas por Southern y Creighton fueron formuladas diciendo, *que la cantidad de calor latente de vaporización es, para todas las presiones,*

constante é igual á 550 calorías, y que añadiendo á este número la temperatura del vapor, se tendrá la total para transformar en fluido aeriforme un kilógramo de agua á 0°.

Regnault ha sido quien ha determinado también con gran exactitud la cantidad de calor latente que se invierte en el paso de un kilógramo de agua, á vapor saturado con una tensión cualquiera: á este fin, ha encontrado la total necesaria para transformar un fluido aeriforme á distintas presiones un kilógramo de agua á 0°. Conociendo por otra parte el número de calorías absorbidas por este líquido para ganar desde 0° la temperatura del vapor acusada por el termómetro, es evidente que la diferencia entre la anterior y esta última, constituirá el calor latente de vaporización.

En la siguiente expresión se hallan formulados los resultados de las esperiencias de Regnault

$$C = 606,5 + 0,305t \dots\dots\dots (12)$$

en la que C representa el número total de calorías, que contienen los vapores saturados correspondientes á la temperatura t del termómetro centígrado.

Si el agua tuviese ya una temperatura t' , habría que disminuir del número C de calorías, el que diese la ecuación ((12)) después de introducir aquel valor, ó bien, y esto es suficientemente exacto, restar t' de C, de manera que

$$C = 606,5 + 0,305t - t' \dots\dots\dots (13)$$

Las ecuaciones ((12)) y ((13)) ponen de manifiesto hasta que punto son erróneas las leyes de Clement y Southern.

§ 11. *Calor total correspondiente á los vapores recalen-*

tados y húmedos.—Si se representa por t , la temperatura del vapor saturado antes de alcanzar la $t' > t$, y admitimos que el calor específico de los vapores es, según Regnault, 0,475 de caloría por kilogramo, el calor total despues del aumento de temperatura será dado por la fórmula

$$C = 606,5 + 0,303 t + 0,475(t' - t) \dots (14)$$

Si el vapor que se considera fuese del que hemos dado á conocer con la denominacion de vapor húmedo, fácil será tambien, en este supuesto determinar el número de calorías absorbidas.

A este fin, si representamos por P kilóg. el peso correspondiente á un volúmen cualquiera, tendremos

$$P = p + p'$$

siendo p y p' respectivamente, los del vapor y agua, que entren en aquel volúmen; por tanto

$$C(n.º \text{ total de calorías}) = p(606,5 + 0,303 t) + p' t \dots (15)$$

§ 12. **Cantidad de agua necesaria para condensar un kilogramo de vapor.**—Con el auxilio de las fórmulas que anteceden, á partir de la ((14)), vamos á resolver este importante problema en las circunstancias que mas generalmente pudieran presentarse, sea:

T temperatura del vapor que supondremos saturado.

P y t . . . peso y temperatura de la masa líquida que haya de condensarlo.

t' temperatura del líquido despues de la condensacion.

Admitiendo que no haya pérdida alguna, el número

de calorías contenidas en el kilogramo de vapor y en los P de agua antes de la condensacion, será igual al de la mezcla y por consiguiente,

$$(P + 1)t' = 606,5 + 0,305. T + Pt$$

de donde

$$P \left(\begin{array}{l} \text{kilogramos de agua} \\ \text{para condensar uno} \\ \text{de vapor.} \end{array} \right) = \frac{606,5 + 0,305. T - t'}{t' - t} \dots (16)$$

§ 13. **Potencias ó poderes caloríficos de los combustibles.**—Repetidas esperiencias respecto á los combustibles empleados generalmente en la industria, han dado á conocer sus *poderes caloríficos*, ó sea el número de calorías producidas por la combustion de un kilogramo de aquellos.

Aunque las cifras, que dichas esperiencias arrojan, superan en mucho—por la manera como se ha procedido á su determinacion—á las que acusan el aprovechamiento en los aparatos industriales mejor dispuestos, su conocimiento es de interés, por cuanto nos hacen ver la necesidad de perfeccionar estos últimos, sirviéndonos al propio tiempo como de tipo para medir el grado de importancia de cualquiera modificacion que pretenda introducirse.

No habiendo conformidad en los resultados obtenidos por diversos esperimentadores, ya por la marcha empleada como por las diferencias entre los combustibles, tanto mas sensibles, cuanto que de ordinario en tales ensayos se opera con pequeñas cantidades, estampamos á continuacion las cifras mas generalmente admitidas.

COMBUSTIBLES.	Poderes caloríficos.
Madera secada á 100°.....	3600
Madera ordinaria con 0,20 de agua.....	2800
Carbon de madera.....	7000
Ulla de muy buena calidad.....	7500
Idem ordinaria.....	6500
Coke con 0,15 de cenizas.....	6000

En los aparatos mejor acondicionados y por las razones que oportunamente espondremos al ocuparnos de ellos, apenas alcanza el rendimiento 0,50 á 0,60 de estas cantidades.

§ 14. **Cantidad de agua vaporizada por un kilogramo de combustible.**—Si partiendo del dato anterior, queremos averiguar la cantidad de agua que *un kilogramo* de combustible puede transformar en vapor saturado á la temperatura t , basta sustituir en la siguiente fórmula

$$n(\text{kilóg. de agua}) = \frac{0,55 \times N}{606,5 + 0,305 t - t'} \dots \quad (17)$$

en vez de N el número de calorías del combustible y por t y t' los valores correspondientes.



LECCION 2.^a

SUMARIO.

Ideas preliminares para facilitar la inteligencia de la determinacion del *trabajo mecánico del vapor de agua*.—Teoría de los coeficientes constantes y consideraciones á que da lugar.—Teoría de Pambour y problemas principales que se desprenden.—Diversas espresiones del efecto útil.—Con una expansion cualquiera, determinar la velocidad, ó la carga mas conveniente para obtener el máximo efecto útil; vaporizacion correspondiente.—Partiendo del anterior supuesto, espresion formular del efecto útil máximo.—Expansion que produce el máximun absoluto de efecto útil.—Clasificacion de las máquinas de vapor y bondad de ellas con relacion al efecto útil.

§ 15. **Ideas preliminares para facilitar la inteligencia de la determinacion del trabajo mecánico del vapor de agua.**—Recordadas unas, y dadas á conocer otras de las principales leyes á que obedece el *vapor de agua*, necesarias á nuestro objeto, resta, para complementar las ligeras nociones teóricas que han sido espuestas anteriormente, ocuparnos de valuar el *trabajo mecánico* de que es susceptible en condiciones determinadas.

Para mayor claridad en esta cuestion, anticiparemos que las *máquinas de vapor* propiamente dichas y mas complicadas, se reducen en último análisis (fig. 1.^a, 2.^a y 3.^a—Lám. 1.^a) á una capacidad AA, en general cilíndrica, en la que una parte movable B llamada *piston* ó *émbolo*, y sobre quien se ejerce la accion del vapor, puede recorrer un camino dado.

Dicha capacidad comunica á voluntad con el recipiente C, ó sea la *caldera* donde se produce aquel, y con el depósito D donde se condensa al salir del *cilindro*.

Las cosas pueden estar, como indican las citadas figuras, dispuestas para que el vapor entre por ambos extremos del cilindro: los tubos *abc* y *de*, tienen este objeto. Los *ff*, *gg* sirven para dar salida al que ha trabajado, dirigiéndose al *condensador*, y si este no existiera, á la atmósfera.

Los espacios comprendidos entre las bases del émbolo al fin de sus viajes y las piezas *h*, *i*, *k*, *l*, que interrumpen ó establecen la comunicacion con la caldera y condensador, se llaman *espacios libres*, y mas particularmente, *libertad del cilindro* á consecuencia del que queda siempre entre este y el émbolo en sus posiciones extremas, B' y B''.

Al vapor saturado que se forma en la caldera, lo denominaremos indistintamente *vapor á plena presión*, *vapor de inmediata formacion*, ó tan solo *vapor de formacion*.

Si despues de haber ejercido una cierta cantidad de este, su accion sobre la pared movable obligándola á recorrer el camino *mn*, se interrumpe la comunicacion con la caldera, el vapor continuará obrando sobre aquella, trasmitiéndole un nuevo *trabajo debido á la expansion*.

Segun esto, para determinar el *total* producido por un volúmen dado, hay que considerar en general dos períodos: uno, durante su accion como *vapor de formacion*; y otro, el correspondiente á *la expansion*.

Como quiera que—no solamente en la mayor parte

de los excelentes prontuarios de mecánica que continuamente se están manejando, sino tambien en tratados clásicos de esta ciencia aplicada á las máquinas—se establecen para calcular los efectos de las de vapor y ciertas cuestiones relativas á ellas, supuestos que no admitimos en estas lecciones, parece natural que demos á conocer la teoría en ellos fundada, lo que facilitará por otra parte la inteligencia de la de Pambour, que es la aceptada por nosotros.

§ 46. **Teoría de los coeficientes constantes: trabajo durante el primer periodo.**—(Fig. 4.^a Lám. 4.^a)—Si representamos por F kilóg. la presión del vapor por unidad de superficie (metro cuadrado) en el recipiente generador, y se admite—después de establecida la comunicación con el cilindro por una de sus estremidades—que dicha presión, con arreglo al principio de Pascal, permanece constante, no tan solo en la caldera sino en aquel, cualquiera que sea el camino recorrido por el pistón, es evidente, que el trabajo desarrollado por el vapor cuando el último haya pasado de la posición B' á la B será

$$T' = F \times S \times e = F \times v \dots \dots \dots (1)$$

Siendo S la base del émbolo, $e = mn$ y v el volúmen que ocupa el fluido en el cilindro, volúmen que será el engendrado por el pistón, si se prescinde de todo espacio libre.

Inútil parece indicar, que será nulo el trabajo debido á la presión sobre la superficie lateral del cilindro.

La presión ((1)), que se considera como formular

:

para el caso en cuestion, enseña, *que el trabajo correspondiente á un volúmen dado de vapor de formacion, es proporcional á la tension de este y al volúmen v engendrado por el piston.*

Esta conclusion no es peculiar de la forma cilíndrica del vaso AA ni de la del émbolo; conviene á cualquiera capacidad recorrida por un piston apropiado, siempre que se cumplan las hipótesis establecidas.

Para demostrarlo—y despues de recordar que el movimiento elemental mas general de un sólido es debido á la coexistencia de una traslacion igual y paralela al movimiento elemental de uno cualquiera de sus puntos y de una rotacion alrededor de un eje pasando por él—estableceremos el siguiente lema: *si ab y $cdef$ (fig. 4.^a, lám. 1.^a) representan dos posiciones contiguas en el movimiento de una superficie plana (un cuadrado de lado ab), fácil es ver; primero, que el volúmen $abcdefab$ es igual á la suma algébrica de los engendrados durante los dos movimientos, uno de traslacion segun gh y otro de rotacion alrededor del eje ii ; y segundo, que dicho volúmen tiene por espresion, el producto de la superficie generadora, por el camino recorrido en direccion normal á ella por su centro de gravedad.*

En la figura citada se ha tomado por movimiento de traslacion, el correspondiente al centro de gravedad de la superficie.

Admitidas las dos partes que comprende esta proposicion, cuya verdad es independiente de la magnitud de la superficie plana en movimiento, y autorizándonos los

principios del método infinitesimal á considerar toda superficie curva como una poliédrica de infinito número de caras, y toda trayectoria como un polígono de infinitos lados, siendo estos y aquellas infinitamente pequeños, fácilmente quedará demostrada (*) la generalidad de la conclusion, *el trabajo debido á un volúmen v de vapor de formacion con la presion F , es dado por la fórmula* $T' = F \cdot v$.

§ 47. *Trabajo durante el segundo periodo.*—Para calcular el trabajo producido por el vapor de formacion, cuyo volúmen es v , en este segundo periodo, se admite; primero, que en cada instante, si bien distinta de uno á otro, la fuerza elástica es la misma en todos los puntos de la masa con arreglo al principio de Pascal; y segundo, que permaneciendo siempre constante la temperatura é igual á la del vapor de formacion, las presiones decrecen obedeciendo á la ley de Mariotte.

Ahora bien, si representamos por \bar{v} y \bar{F} , el volúmen y la presion, correspondientes á un momento cualquiera de la expansion, cuando el émbolo se encuentra en \bar{B} por ejemplo, y suponemos que, durante el paso de \bar{v} á $\bar{v} + d\bar{v}$, permanece constante \bar{F} , el trabajo desarrollado en este aumento de volúmen será

$$\bar{F} \cdot d\bar{v},$$

(*) Obsérvese que los volúmenes $kl a' c f a'$, $kl b' e d b'$ son equivalentes; y que los $aa' f c a'$, $bb' e d b'$ tienen respecto á ellos un valor infinitamente pequeño: ambas verdades son estensivas al caso en que el lado ab sea infinitamente pequeño.

Los puntos l y k representan las intersecciones de los lados cd , ef con la superficie proyectada en $a' b'$.

y la integracion entre los límites convenientes, nos dará el debido á la expansion;

$$T'' = \int \frac{V}{F} d\bar{v} = Fv \int \frac{V}{v} \frac{d\bar{v}}{\bar{v}} =$$

$$= F \cdot v \log. \text{hip.} \frac{V}{v} = F \cdot v \log. \text{hip.} \frac{F}{F'}$$

Si agregamos á este valor el encontrado durante el primer período, obtendremos el total producido por el volúmen v de vapor á la presion F , y expansion determinada por el paso de v á V : así pues,

$$T = T' + T'' = Fv + Fv \log. \text{hip.} \frac{F}{F'} = Fv \left(1 + \log. \text{hip.} \frac{F}{F'} \right)$$

en la que F' es la presion correspondiente al volúmen V .

Generalmente, en el valor formular de T , se introduce el trabajo desarrollado por la resistencia que, sobre la cara opuesta del piston, ejerce la presion que proviene del condensador, y si este vaso no existiera, la atmosférica: dicha resistencia se la conoce mas particularmente con el nombre de *contrapresion*.

Representando por F_1 su valor, $F_1 V$ será el trabajo durante un curso del émbolo, y por tanto

$$T = Fv \left(1 + \log. \text{hip.} \frac{F}{F'} \right) - F_1 V =$$

$$= Fv \left\{ 1 + \log. \text{hip.} \frac{F}{F'} - \frac{F_1}{F'} \right\} \dots \dots (2)$$

Por la manera como hemos procedido, y teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la expresion ((2)) es independiente de la forma del vaso en que se mueve el

émbolo y aplicable por lo tanto á toda disposicion de máquina, y estensiva tambien á cualquier período de tiempo: por v debe sustituirse siempre el volúmen suministrado por la caldera en el intervalo que se considere.

Sin ocuparnos de referir la fórmula teórica ((2)) que espresa kilográmetros á otra unidad de igual naturaleza, cuestion sin dificultad, investigaremos por su mayor interés, el trabajo por kilógramo de agua trasformada en vapor, y el correspondiente á uno de combustible dado.

§ 48. *Trabajo por kilógramo de agua trasformada en vapor.*—Siendo F y t la tension y temperatura del vapor saturado, cuyo volúmen es v , la fórmula ((9)) (§ 9) nos dará

$$P \text{ (kilóg. de agua)} = p v = 219,349 \frac{F}{272,48 + t} \times v$$

y por tanto

$$\bar{T} = \frac{T}{P} = \left\{ 1 + \log. \text{ hip. } \frac{F}{F'} - \frac{F_1}{F'} \right\} \frac{272,48 + t}{219,349} \dots \quad (3)$$

será el trabajo debido á 1 kilóg. de agua trasformada en vapor saturado á la tension F , en el supuesto que el volúmen, despues de la expansion, guarde con el que

ocupe al iniciarse esta, la relacion $\frac{F}{F'}$.

§ 49. *Trabajo correspondiente á 1 kilóg. de combustible.*—Conocido por la fórmula ((17)) (§ 14) el número de kilógramos de agua que puede trasformar en vapor, uno de combustible dado, resta solo multiplicar dicho número por el valor que represente la espresion anterior para obtener lo que se pretende; así pues,

$$\begin{aligned} \bar{T} \text{ (trabajo correspondiente á 4 kilóg. de combustible)} &= \\ &= \frac{0,55 \times N}{605,5 + 0,305 \cdot t - t'} \times \bar{T} \dots\dots (4) \end{aligned}$$

Esta fórmula permite apreciar la bondad relativa de las máquinas entre sí, bajo el punto de vista del mejor aprovechamiento del combustible; á cuyo fin, basta introducir en ella los valores particulares de las que se trata de comparar.

Este es el medio generalmente adoptado en la práctica y transacciones comerciales para dar á conocer sus efectos mecánicos, si bien refiriendo siempre el consumo de combustible á las unidades *caballo y hora*.

No habiéndose tomado en consideracion, al encontrar las fórmulas anteriores—dicen los partidarios de la teoría que acaba de esponerse—las pérdidas originadas por muchos conceptos, es preciso al hacer aplicacion de ellas afectarlas de *coeficientes numéricos* (circunstancia que la da nombre) para obtener el verdadero trabajo trasmitido al émbolo.

Tal es en suma la teoría en mi opinion justamente combatida por Pambour; sin embargo, debemos añadir que, á medida que nos separemos menos de las circunstancias que existian cuando se determinaron los coeficientes, podremos con mayor confianza hacer uso de las fórmulas encontradas (*).

(*) En el apéndice final se encuentran detalladas todas las mas usuales. consecuencia de esta teoría, pertenecientes á las distintas máquinas clasificadas como mas adelante veremos.

§ 20. **Consideraciones relativas á la anterior teoria.**—Fijándonos en los principios que han servido de base á la teoría que acabamos de esponer, y en la manera de ejercer su accion el vapor sobre una pared movible obligándola á engendrar un volúmen dado, fácilmente habremos de comprender la inexactitud que encierran las fórmulas que se derivan de la admision de tales principios. Así pues, en la suposicion de ser en todos los casos aplicable el de Pascal á la masa fluida que se precipita á ocupar el espacio que deja el *émbolo* ó *piston*, hay que ver la principal causa, la única pudiera decirse, de los vicios que entraña la teoría combatida por Pambour.

En efecto, imaginemos que, siendo F la presion en la caldera y en las partes de los tubos comprendidas desde a hasta las piezas h, i , se establece la comunicacion entre ella y el espacio $hemfk$; evidentemente, al ser este ocupado por el vapor, quedará roto el equilibrio de la masa fluida, disminuyendo la densidad y tension de esta, efecto que apenas se hará sensible en el depósito C , siempre que aquel volúmen sea pequeño con relacion al oap : si admitimos que el piston B' opone una resistencia R tan grande como sea necesario para que no se mueva, muy luego la presion F reaparecerá en el espacio $hemfk$.

En tal estado, supongamos, á mas de la posibilidad de conservar siempre la presion F en la caldera, que disminuimos en pequenísimas porciones la resistencia R ; es innegable, que si llegado el instante en que se inicie el

movimiento suspendemos el disminuir aquella, *la presión* del vapor sobre el émbolo oscilará entre límites tales que diferirán poco de F; pero si en lugar de detenernos allí, continuamos debilitándola hasta reducir su valor considerablemente, no es menos cierto, que el piston irá adquiriendo velocidades cada vez mayores antes de alcanzar *una determinada*, á la que corresponderá *otra presión*, que podrá separarse muchísimo de la hallada en el supuesto anterior.

De aquí se desprende; primero, *que la tensión del vapor en el cilindro es siempre menor que en la caldera, con tal que el émbolo tenga movimiento*; segundo, *que la presión sobre el émbolo tan solo depende de la resistencia media que oponga á moverse.*

Estas consecuencias, ciertas obre ó no por expansion el vapor, son tanto mas atendibles cuanto que al conducirse así, obedece á la ley á que están sujetos todos los *motores secundarios* (*): por lo cual, en uno y otro de aquellos dos supuestos y despues de un tiempo no muy grande, el piston llegará á alcanzar un movimiento regular, ó sea periódicamente uniforme.

Tales consideraciones pues, indican por sí solas, en primer lugar, que los coeficientes de que se hace uso para armonizar los resultados teóricos con los prácticos, no pueden responder satisfactoriamente á las exigencias de las aplicaciones; pues para que tal aconteciese, seria

(*) Entran á formar parte de los *motores secundarios*, admitiendo la clasificación de Poncelet, los animados, el agua, el viento, el vapor de agua y cuantos ejerzan su acción análogamente á estos.

preciso, uno particular á cada combinacion especial de los elementos que influyen en su valor; y en segundo, que la necesidad de ellos no reconoce por única causa haber prescindido de todas las resistencias pasivas, condensacion en los tubos, fugas de vapor, etc.; la principal debe buscarse en la suposicion de la constancia de F, cualesquiera que sean las condiciones de la marcha del piston ínterin recibe vapor de la caldera; supuesto, que solo podria admitirse, cuando aquel huyese ante la accion del fluido con la menor velocidad posible.

Como nuevo apoyo de los vacios que existen en esta teoría, se puede citar tambien la manera de determinar la velocidad del émbolo.

Una de las fórmulas mas aceptadas es, segun Pambour, la siguiente de Tredgold (*)

$$V = 240 \sqrt{l \frac{P}{w}} \dots \dots \dots (5)$$

en la que V representa en piés la velocidad del piston en l', l su curso, P tension en la caldera y w la resistencia que opone á moverse el piston.

Si como es de suponer, estas dos últimas cantidades están espresadas en la misma unidad, inmediatamente puede observarse la inexactitud de esta espresion sustituyendo por w un valor igual ó algo mayor que P.

(*) En el tratado de máquinas de vapor de este ilustre ingeniero, traducido al francés por Mellet, y de este idioma al nuestro por D. Gerónimo de la Escosura, no hemos encontrado la fórmula ((5)).

Tredgold para determinar la velocidad mas conveniente del piston, ya obra el vapor con expansion ó sin ella, establece ciertas reglas, que en nuestro sentir dejan mucho que desear.

Pambour, á cuya manera de ver en este punto, no se ajusta enteramente la nuestra, indica que el vicio radical que encierra la fórmula ((5)), está en no contener cantidad alguna relativa á la produccion del vapor en la caldera. Mas adelante dejamos entrever la razon que nos autoriza á separarnos de opinion tan respetable; por ahora solo diremos que, en el establecimiento de las máquinas, siguiendo la teoría esplicada, la velocidad suele ser dada *á priori* casi siempre, y tomada de la esperiencia en las condiciones que mas generalmente trabajan aquellas.

Antes de entrar de lleno en la teoría de Pambour, conviene á nuestro propósito dar á conocer una observacion que, debida al mismo, justifica de nuevo la idea de inexacta y errónea con que ha calificado la de los coeficientes constantes.

Imaginemos una máquina de vapor, cuyo piston tiene un movimiento uniformemente periódico, y supongamos que F sea la tension del fluido en la caldera, y R la resistencia media que oponga el émbolo. Si admitimos todavía, que la cantidad de vapor que durante un minuto entre en el cilindro, sea en esta unidad de tiempo precisamente el producido en la caldera, la observacion de Pambour quedará formulada en los siguientes términos: *con cualquiera tension F del vapor en el recipiente generador se puede obtener para una resistencia media R , el mismo régimen, siempre que F sea mayor que R .*

Para convencernos de esto, basta fijarse en que si F llegara á tomar el valor nF , (siendo n número entero) con disminuir ó estrechar los orificios que dan entrada al

fluido en el cilindro, se lograria mantener á R con la misma velocidad que anteriormente.

Si la presion F descendiese hasta $\frac{1}{n} F > R$, en este caso, habria que aumentar aquellos; pues compensando de esta manera con la seccion, la pérdida de densidad, el émbolo conservará el régimen prefijado.

Ahora bien, si la produccion de vapor en la caldera, es superior á la cantidad que se necesita para la marcha determinada que deseamos mantener, habrá que dar salida al exceso por las *válvulas de seguridad*, de que está provista aquella, si no pudiese vencer la resistencia que ofrecen; pues de no fugarse, la tension acrecerá en la caldera, alcanzando el émbolo nuevo régimen.

Las *válvulas*, cuya descripcion haremos oportunamente, son en principio, iguales á las que hemos estudiado en otras máquinas, especialmente al ocuparnos de la prensa hidráulica.

Como consecuencia de estas reflexiones dedúcese nuevamente, que el cálculo del efecto trasmitido por una máquina de vapor—*fundado en el supuesto de igualdad de tension en el cilindro y caldera, y afectando al resultado así obtenido de un coeficiente constante*—es inexacto y erróneo, como hemos visto guiados por otras consideraciones.

§ 21. **Teoria de Pambour y problemas principales que se desprenden.**—Tomando la cuestion con la mayor generalidad posible, supongamos que todo se halla dispuesto para que el vapor, despues de haber

obrado como de *formacion*, mientras el émbolo ha recorrido la distancia mn (fig. 4.^a, lám. 4.^a), ejerza una segunda accion en el resto del curso debida á su *expansion*.

Ajustándonos al precepto general de no calcular los efectos de las máquinas mientras no hayan alcanzado su régimen, supongamos que es regular ó periódicamente uniforme, el movimiento de la representada en la citada figura, que va á servirnos tambien de guia en el establecimiento de esta teoría.

Hecha esta recordacion, procederemos como hasta aquí en cuestiones análogas; encontrando la ecuacion relativa á la *trasmision de trabajos* cuya determinacion quedará facilitada, si calculamos separadamente el correspondiente á los dos periodos en que hemos subdividido la accion del fluido, despues de suponer que todas las resistencias de la máquina, tanto útiles como pasivas, son reemplazadas por una que obre directamente sobre el émbolo.

§ 22. *Trabajo durante el primer periodo.*—Sea F por metro cuadrado, la tension en kilogramos, del vapor en la caldera: al pasar el émbolo de la posicion inicial, B' á la B , es evidente que aquel ha debido trasmitirle un cierto trabajo.

De cualquier modo que varíe la accion desde que penetre en el cilindro, hasta que el piston llegue á B , siempre podrá suponerse que dicho trabajo es producido por una presion media F' , sobre unidad de superficie del émbolo, constante en todo el trayecto mn ; en su consecuencia, designando por

S { la superficie del piston en metros cuadra-
dos.

y por

e { el camino en metros, que recorre durante el
primer período,

tendremos:

$$T' \text{ (trabajo en el primer período)} = F' \times S \times e = F' \cdot v \dots (6)$$

§ 23. *Trabajo correspondiente al segundo período.*— Las multiplicadas esperiencias de Pambour, por mas que no todos admitan la exactitud de sus consecuencias, le han autorizado á suponer que el vapor durante su accion en el cilindro, permanece siempre en estado de saturacion—si bien variable con las distintas temperaturas que se van presentando durante la marcha del émbolo—y que por tanto, no es aplicable la ley de Mariotte aceptada generalmente, durante el segundo período, ó sea el de la expansion.

Si de la ecuacion ((8)) (§ 8) que nos permite pasar de un volúmen V' de vapor al máximun de densidad, á otro V igualmente saturado, siendo F' y F las tensiones respectivas, sacamos el valor de F , tendremos

$$F = \frac{V'}{V} \left\{ n + F' \right\} - n. \quad (*)$$

Esta expresion formular, que pone de manifiesto la ley

(*) Teniendo en cuenta los límites de las tensiones del vapor, que comunmente se presentan en la práctica no hay necesidad de recurrir á la fórmula $V = V' \frac{m}{m'} \times \frac{n' + F'}{n + F}$, lo que por otra parte no ofreceria dificultad alguna.

que rige á las tensiones durante la expansion de un volúmen dado de vapor, nos sirve para determinar el trabajo desarrollado en el segundo período, procediendo análogamente á como se hizo en la teoría de los *coeficientes constantes*.

Esto supuesto, representemos por

- | | |
|-----------------------------|--|
| \bar{v} y \bar{F} | $\left\{ \begin{array}{l} \text{el volúmen y tension del fluido en cualquier} \\ \text{momento de la expansion; cuando el émbolo} \\ \text{se encuentre en } \bar{B} \text{ por ejemplo;} \end{array} \right.$ |
| $S h$ | |
| E y e | $\left\{ \begin{array}{l} \text{el curso total del piston y el parcial durante el} \\ \text{primer período;} \end{array} \right.$ |
| V y v | $\left\{ \begin{array}{l} \text{volúmenes engendrados por el piston al re-} \\ \text{correr los caminos } E \text{ y } e. \end{array} \right.$ |
| R | $\left\{ \begin{array}{l} \text{resistencia total que por unidad de superficie} \\ \text{de la base del émbolo, se opone á su movimiento} \end{array} \right.$ |

Integrando $\bar{F} \cdot d\bar{v}$ entre los límites $V + Sh$ y $v + Sh$, despues de sustituir por \bar{F} su valor en funcion de F' , tendremos:

$$\begin{aligned}
 T'' &= \int_{v+Sh}^{V+Sh} \bar{F} d\bar{v} = \int_{v+Sh}^{V+Sh} \left\{ \frac{v+Sh}{\bar{v}} (n + F') - n \right\} d\bar{v} = \\
 &= (v + Sh) (n + F') \log. \text{ hip. } \frac{V+Sh}{v+Sh} - n (V - v) = \\
 &= S (e+h) (n+F') \log. \text{ hip. } \frac{E+h}{e+h} - n S (E - e) \dots (7)
 \end{aligned}$$

Como el trabajo en el primer período ha sido $T' = F'Se$,

para obtener el total correspondiente á un curso de piston, basta añadir T' á T'' .

Igualando la suma al desarrollado por las resistencias durante el mismo tiempo, tendremos encontrada la relacion que buscábamos

$$T=T'+T''=S(e+h)(n+F') \left\{ \frac{e}{e+h} + \log. \text{hip.} \frac{E+h}{e+h} \right\} - nSE = RSE \dots \dots \dots (8)$$

En la primera parte de este curso hicimos ver, que toda la teoría de las máquinas en movimiento se hallaba como condensada en la aplicacion á ellas, del teorema de fuerzas vivas, ó sea del principio de la trasmision del trabajo. Repetidas veces, y muy especialmente al estudiar los motores hidráulicos, hemos tenido ocasion de justificar lo que entonces se espuso de una manera general: en su consecuencia, la ecuacion ((8)) debiera contener—y así es en efecto—los elementos necesarios para responder á cuestiones análogas á las que allí fueron resueltas.

Pero como quiera que Pambour encuentra una nueva ecuacion—que le proporciona la igualdad que debe existir entre el consumo de vapor en el cilindro y el producido en la caldera—para resolver en union de la ((8)) los problemas que oportunamente indicaremos, conviene á este propósito hacer algunas ligeras reflexiones que justifiquen tal manera de proceder, para destruir cualquiera duda que, acerca de su exactitud pudiera presentarse: veamos pues lo que acontece desde que el vapor principia á entrar en el cilindro, hasta el momento

de quedar interrumpida su comunicacion con la caldera.

Al precipitarse aquel fluido en el cilindro, durante la parte del curso total correspondiente al primer período, con una velocidad que varía en todos los instantes, las acciones que experimenta el émbolo son debidas; unas, á las fuerzas vivas del vapor que va entrando, y las otras, á las presiones que sin interrupcion suceden á aquellas.

Si las dificultades de cálculo que por otra parte habria que fundar sobre hipótesis poco aceptables, no se opusieran al conocimiento de dichas fuerzas vivas, el medio directo de establecer la ecuacion de trabajos correspondiente á una masa M de vapor de tension conocida, seria tomar en cuenta todas las acciones durante el primer período, y agregarles las desarrolladas en el segundo: con esto no restaria otra cosa—siguiendo una marcha análoga á la esplicada en los motores hidráulicos—que disponer entrase el fluido en el cilindro, en la cantidad á que se refiera aquella ecuacion.

La velocidad (*) del émbolo seria una consecuencia

(*) Aquí puede entreverse ya, el porque disentimos de Pambour—sino en el fondo, en la forma—cuando, por la sola circunstancia de no contener cantidad alguna relativa á la produccion del vapor en la caldera, rechazó la fórmula de Tredgold, presentando esto al propio tiempo, como nueva razon para no aceptar la teoría de coeficientes constantes.

En efecto, dicha fórmula siendo—como todo induce á creerlo así—esencialmente empírica, su inexactitud no debe á nuestra manera de ver contemplarse como fundamento bastante firme para calificar de errónea la teoría en cuestion; seríalo, en el supuesto de haberla deducido de la ecuacion de trabajos establecida con arreglo á los preceptos de aquella; pues bien pudiera acontecer que para huir de una expresion complicada se apelara, á espensas de la exactitud, á una mas sencilla.

Tredgold sin duda alguna para aplicar su fórmula, tiene en cuenta circunstancias que solamente realizándose, se obtendrá resultados aceptables: por esto mismo, ignorando nosotros cuáles sean tales circunstancias, razonaremos como lo hicimos al ocuparnos de ella.

necesaria de las acciones antes indicadas, y de la resistencia que se opusiera á su marcha.

Pambour elude ingeniosamente todas las dificultades, suponiendo que el trabajo desarrollado por el vapor y transmitido al piston durante el período de admision, es precisamente el mismo que le comunicaria un volúmen igual al máximum de densidad y tension F' .

Despues de estas ligeras reflexiones que hemos creído conveniente hacer, pasemos á formular en lenguaje del cálculo la igualdad entre el consumo de vapor y produccion en la caldera: la ecuacion que se obtiene simplifica la relacion que debe existir entre todos los elementos que entran en la general de trabajos.

Si por M espresamos en metros cúbicos el volúmen de agua, que en t' se ha convertido en vapor, $\frac{mM}{n+F'}$ representará el de este á la presión F' , suministrado por el generador en la misma unidad de tiempo.

Como por otra parte, y admitiendo que el émbolo hace k viajes ó cursos en un minuto, $kS(e+h)$ será el volúmen(*) del que haya entrado en el cilindro, tendremos

$$\frac{mM}{n+F'} = kS(e+h) \quad \text{ó bien}$$

$$\frac{mM}{n+F'} = v S \frac{e+h}{E} \quad \text{de donde}$$

(*) Pambour prescinde por una parte del pequeño volúmen de vapor que despues de cada viaje queda en los espacios libres; y por otra, del correspondiente al vástago del piston: la influencia de ambos queda destruida entre sí parcialmente.

$$v = \frac{mM}{(n + F')S} \times \frac{E}{e + h} \dots \dots \dots (9)$$

despues de sustituir por k su valor deducido de $v = kE$; v espresa la velocidad del émbolo.

Las ecuaciones ((8)) y ((9)) contienen los elementos necesarios para resolver los tres principales problemas que pueden ofrecerse, y que constituyen, por decirlo así, toda la teoría de las máquinas de vapor en movimiento.

En efecto, ellas nos permiten:

1.º Encontrar la *velocidad* con que haya de moverse la *resistencia*, conocida esta y la *cantidad de agua* trasformada en vapor.

2.º Determinar la *resistencia*, conocidas la *velocidad* con que haya de moverse y la *cantidad de agua* vaporizada.

Y 3.º Dadas la *resistencia* y *velocidad* con que haya de moverse, determinar la *cantidad de agua* que pase al estado de vapor.

§ 24. *Valor formular de la velocidad.*—Si entre las ecuaciones ((8)) y ((9)) eliminamos F' y despejamos el valor de v , tendremos

$$v = \frac{M}{S} \times \frac{m}{n + R} \left(\frac{e}{e + h} + \log. \text{hip.} \frac{E + h}{e + h} \right) \dots (10)$$

ecuacion que corresponde al 1.º de los tres problemas indicados.

Como ya sabemos, R representa por unidad de superficie de la base del émbolo, la fuerza con que este

se opone al movimiento, fuerza constituida no tan solo por la resistencia ó carga útil, sino por todas las que en diversos conceptos existen ó se desarrollan en las máquinas en movimiento.

Refiriéndonos á la fig. 4.^a (lám. 4.^a), entran en R como es fácil comprender:

4.º La carga útil que representaremos por Q.

2.º El rozamiento, que podemos descomponer en el producido por todas las partes de la máquina cuando no existe resistencia útil, y en el originado por esta última; siendo espresados uno y otro valor respectivamente por f y δ Q.

Y 3.º La presion F_1 que nace del condensador ó de la atmósfera, caso de no existir aquel.

En su consecuencia

$$R = (1 + \delta)Q + F_1 + f$$

$$y \quad v = \frac{M}{S} \times \frac{m\Sigma}{n + (1 + \delta)Q + F_1 + f} \dots \quad (11)$$

despues de haber hecho

$$\frac{e}{e+h} + \log. \text{ hip. } \frac{E+h}{e+h} = \Sigma.$$

Observando que en las espresiones ((10)) y ((11)) el factor

$$\frac{Mm}{n+R} = \frac{Mm}{n + (1 + \delta)Q + F_1 + f},$$

es el volúmen de vapor saturado á la presion R, produ-



cido por uno M de agua, fácil será espresar en lenguaje vulgar la regla para encontrar en todos los casos el valor de v , que como puede notarse es independiente de la presión F en la caldera.

Una vez para siempre, indicaremos que M representa el volúmen de agua correspondiente á la cantidad de vapor que ha entrado en el cilindro, y que elegido el metro como unidad lineal, las superficies y volúmenes lo serán respectivamente en metros cuadrados y cúbicos.

§ 25. *Valor formular de la resistencia útil.*—Si en la ecuacion ((11)) que responde al primer problema, despejamos la carga ó resistencia útil que se hace sentir sobre la base del émbolo, se tendrá

$$SQ = \frac{m \Sigma M}{(1 + \delta) v} - \frac{S}{(1 + \delta)} (n + F_1 + f) \dots \dots (12)$$

y este valor podrá considerarse, como la solución general de la cuestión que ha sido indicada en segundo lugar.

Conviene hacer observar que la hipótesis $v=0$, reduce á la forma indeterminada $\frac{0}{0}$ el valor de SQ , lo que no es de extrañar, atendiendo á que la vaporización es nula en este caso.

§ 26. *Valor formular de la vaporización.*—Despéjese M de la misma ecuacion ((11)) y se tendrá

$$M = S v \times \frac{n + (1 + \delta) Q + F_1 + f}{m \Sigma} \dots \dots (13)$$

vaporización correspondiente á una resistencia Q , que se mueve con una velocidad v .

§ 27. *Valor formular del efecto útil.*—Resueltas ya las tres cuestiones capitales que nos habíamos propuesto, despréndese de ellas, como consecuencia inmediata, otra de no menos interés, la relativa al *efecto útil*; pues en el valor general de este, encontraremos siempre, como ya indicamos, un medio de determinar la bondad relativa de las máquinas bajo el punto de vista del mayor rendimiento.

Deteniéndose un momento en las ecuaciones ((11)) y ((12)), muy luego se verá que, multiplicadas respectivamente, por SQ y v , obtendremos para dicho *efecto útil* dos valores generales; en función de la carga el uno, y de la velocidad el otro; así pues,

$$\text{Ef. útil} = SQ \cdot v = \frac{m Q \Sigma M}{n + (1 + \delta) Q + F_1 + f} \dots \quad (14)$$

$$\text{Ef. útil} = SQ \cdot v = \frac{m \Sigma M}{1 + \delta} - \frac{S v}{1 + \delta} (n + F_1 + f) \dots \quad (15)$$

§ 28. **Diversas expresiones del efecto útil.**— Algunas veces en la práctica, suele darse el *efecto útil* de las máquinas indicando, ya el correspondiente á 1 kilogramo de combustible, ó á un metro cúbico de agua, ó bien refiriéndolo á otra unidad de las que puedan conducir fácilmente al conocimiento de la bondad relativa de ellas: y aunque como en otro lugar dejamos consignado, la importancia económica se formula manifestando el

número de kilogramos de combustible que por caballo y hora consumen, conviene sin embargo, para la resolución de los problemas que pueden ofrecerse, ocuparnos de espresar dicho *efecto útil* de todos los modos mas generalmente admitidos.

§ 29. *Efecto útil en caballos.*—Basta para obtener el *efecto útil* en esta unidad, dividir el número de kilogramos que representa $SQ \cdot v$, por 4500, que son los correspondientes á un caballo en 1'; así pues

$$\text{Ef. útil (en caballos)} = \frac{SQ \cdot v}{4500} \dots \dots \dots (16)$$

§ 30. *Efecto útil correspondiente á 1 kilóg. de combustible.*—Si representamos por n el número de kilogramos que de combustible han sido necesarios para vaporizar el volúmen M de agua, el *efecto útil* por unidad de aquel será dado por la fórmula

$$\text{Ef. útil (por kilóg. de comb.)} = \frac{SQ \cdot v}{n} \text{ kilogramos... (17);}$$

n puede conocerse por esperiencia directa, ó por comparacion ó bien haciendo uso de la fórmula ((17)) (§ 44).

§ 31. *Efecto útil correspondiente á 1 metro cúbico de agua.*—Como $SQ \cdot v$ indica el *efecto útil* debido al volúmen M que se ha espresado en metros cúbicos, tendremos

$$\text{Ef. útil} \left\{ \begin{array}{l} \text{correspondiente á 1} \\ \text{metro cúbico de} \\ \text{agua...} \end{array} \right\} = \frac{SQ \cdot v}{M} \text{ kilogramos..... (18)}$$

Despues de esto fácil será comprender, que si se

divide $\frac{SQ.v}{4500}$ por n ó M , se obtendrá en caballos el efecto correspondiente á 1 kilóg. de combustible, ó á 1 metro cúbico de agua.

§ 32. *Cantidad de combustible por caballo y hora.*—

Siendo por lo que acabamos de hacer observar $\frac{SQ.v}{n.4500}$ cab.^s

el *efecto útil* debido á un kilóg. de combustible, lo que se pretende ahora estará formulado en la espresion

$$N \left\{ \begin{array}{l} \text{kilógramos de combustible} \\ \text{por caballo y hora. . .} \end{array} \right\} = \frac{4500 \times n}{SQ.v} \times 60 \dots \dots (19)$$

De un modo análogo encontraríamos el volúmen de agua, que, por igual unidad y en el mismo tiempo, se necesitase para alimentar la caldera; no habria mas que poner M en vez de n en la fórmula ((19)).

§ 33. **Dada una expansion cualquiera, determinar la velocidad mas conveniente para obtener el máximum de efecto útil con una vaporizacion conocida.**—No habiendo introducido al encontrar el *efecto útil*, hipótesis alguna, que pudiera afectar la generalidad de su valor representado en las fórmulas ((14)) ó ((15)), y recordando por otra parte que, como todos los motores secundarios, el vapor exige, si ha de producir el máximum de trabajo, una velocidad determinada para el órgano á quien inmediatamente transmite su accion, vamos á investigar cuál deba ser aquella para obtener dicho *máximum relativo*, partiendo de una *expansion cualquiera* y bajo el supuesto siempre, de

ser una misma la cantidad de agua vaporizada en la unidad de tiempo.

La expresion general del *efecto útil* en funcion de la *velocidad*, hace ver, que disminuyendo esta, aumenta aquel, si bien no se puede llegar á $v=0$, porque siendo entonces $M=0$, queda igualmente anulado el primero; en su consecuencia para encontrar el valor mínimo de v , que hace máximo el del efecto útil, es preciso acudir á la ecuacion ((9))

$$v = \frac{m M}{S(n + F')} \cdot \frac{E}{e + h};$$

esta hace patente la imposibilidad de que v pueda tener un valor menor, que el que resulte de sustituir en vez de F' , la presion F en la caldera; y así pues,

$$v' \left\{ \begin{array}{l} \text{valor de } v \text{ correspondiente al} \\ \text{efecto útil máximo relativo} \end{array} \right\} = \frac{m M}{S(n + F)} \cdot \frac{E}{e + h} \dots \dots \dots (20)$$

y por tanto

$$\left. \begin{array}{l} \text{Efecto útil máximo re-} \\ \text{lativo á consecuencia} \\ \text{del valor } v' \text{ de } v. \end{array} \right\} = \frac{m M}{A + \delta} \left\{ \sum \frac{E}{e + h} \cdot \frac{n + F_1 + f}{n + F} \right\} \dots (21)$$

En esta última expresion—que, como es fácil observar crece principalmente con M , volúmen de agua vaporizada—el valor F que ha resultado para F' , debe contemplarse como puramente teórico y en manera alguna como la presion real y efectiva que obra sobre el émbolo, pues es evidente que si se llegase á tener $F'=F$, el vapor no podria pasar al cilindro, siendo nula la velocidad en este caso.

Si á esto se añade la consideracion de que el fluido tiene que experimentar alguna resistencia al recorrer los

tubos que desde la caldera lo conducen al cilindro, resistencia variable con su velocidad, diámetro de aquellos, número de recodos, etc., mayormente se comprenderá la necesidad de que F' sea algo inferior á F , si bien este valor límite nos indica ya—recordando por otra parte las consideraciones que se espusieron en el § 20—que la diferencia entre ambos ha de ser muy pequeña relativamente á la tension en la caldera.

Si nos detenemos en el valor de v' , observaremos tambien, que la velocidad de máximo efecto es variable—á igualdad de presion en la caldera y de los coeficientes m y n —con la vaporizacion, seccion recta del cilindro y la relacion $\frac{E}{e+h}$, lo que se debe tener presente para

cuando trate de fijarse aquella, ya sea en las máquinas establecidas ó bien en las que hayan de establecerse.

§ 34. Determinacion de la carga ó resistencia util, correspondiente al máximo de efecto con una vaporizacion conocida.—Si se observa el valor formular del trabajo en funcion de la resistencia útil, deduciremos que su crecimiento es consecuencia del de Q (*): esta cantidad, cuyo aumento al parecer puede ser indefinido, reconoce por límite el valor que se desprende de la espresion general ((12)), despues de sustituir v' por v , y por tanto

(*) Para convencerse de ello basta dividir por Q los dos términos de la fraccion

$$\frac{m Q \Sigma N}{n + (1 + \delta) Q + F_1 + f}$$

$$S Q' \left\{ \begin{array}{l} \text{valor de SQ correspondien-} \\ \text{te al efecto útil máximo} \\ \text{relativo.} \end{array} \right\} = \frac{S}{1+\delta} \times \frac{e+h}{E} \Sigma(n+F) - \\ - \frac{S}{1+\delta} (n+F_1+f) \dots\dots\dots (22)$$

introduciendo este valor en la ecuacion ((14)) tendremos:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Efecto útil máximo re-} \\ \text{lativo á consecuencia} \\ \text{del valor } Q' \text{ de } Q. . . \end{array} \right\} = \frac{mM}{1+\delta} \left\{ \Sigma - \frac{E}{e+h} \cdot \frac{n+F_1+f}{n+F} \right\} \dots (23)$$

La ecuacion ((12)) por una parte y la identidad de los valores ((21)) y ((23)) hacen ver la estrecha y mútua conexion que, entre las cantidades v' y Q' existe, hasta el punto, de ser una, inmediata consecuencia de la otra.

§ 35. **Vaporizacion correspondiente á la velocidad y carga de máximo efecto útil.**—Sustitúyase en el valor general ((13)) en vez de v y Q , v' y Q' ; ó bien despéjese M de la ecuacion

$$v' = \frac{mM}{S(n+F)} \times \frac{E}{e+h}, \text{ y tendremos:}$$

$$M = S v' \frac{n+(1+\delta) Q' + F_1 + f}{m \Sigma} \dots\dots\dots (24)$$

$$y \quad M = \frac{e+h}{E} \times \frac{n+F}{m} \cdot S v' \dots\dots\dots (25)$$

Para pasar de la primera á la segunda, elimínese Q' con el auxilio de la ecuacion ((22)).

§ 36. **Efecto útil máximo con una expansion determinada.**—Como una consecuencia de lo que hemos dejado dicho hace poco, al determinar la resistencia útil y velocidad correspondientes al maximum de

efecto—partiendo como hasta aquí de una expansion conocida y vaporizacion dada—no hay mas, para obtener lo que se desea, que multiplicar entre sí los valores de SQ' y v' ; y por tanto

$$\left. \begin{array}{l} \text{Efecto útil} \\ \text{máximo re-} \\ \text{lativo.} \end{array} \right\} = SQ'v' = \frac{mM}{1+\delta} \left\{ \Sigma - \frac{E}{e+h} \cdot \frac{n+F_1+f}{n+F} \right\} \dots \quad (26)$$

La consideracion de haber obtenido espresiones iguales, cuando en la general del efecto útil se introdujeron separadamente los valores particulares v' y Q' , patentiza de nuevo la estrecha dependencia que entre sí tienen *la velocidad y la carga*.

Si quisiéramos referir $SQ'v'$ á distintas unidades, seguiríamos la misma marcha empleada para SQv .

De la circunstancia de haber permanecido constante M , así en el valor general del trabajo como en la ecuacion ((26)), y de la de ser $SQ'v' > SQv$, se desprende, que el mínimum para aquella cantidad, á trabajo igual, se obtendrá siempre que v y Q alcancen los valores v' y Q' .

§ 37. **Espanion que produce el máximum absoluto de efecto útil.**—Al determinar en la cuestion que antecede el máximum efecto útil de que es susceptible un volúmen M , de agua trasformada en vapor á la tension F , hemos partido de que la espanion, que podia ser cualquiera, fuera dada *á priori*; y bajo tal supuesto se han hallado los valores v' y SQ' : pero como quiera que, el representado en la ecuacion ((26)) es variable con e , de aquí otro nuevo problema, el de si existe para esta última cantidad uno tal, que convierta en máximum á aquella funcion.

A este fin, despues de poner por Σ su valor $\frac{e}{e+h} + \log. \text{hip.} \frac{E+h}{e+h}$, y encontrados los dos primeros coeficientes diferenciales, veremos que $SQ'v'$ es máximum

con
$$e = E \frac{n + F_1 + f}{n + F} \dots\dots\dots (27)$$

ó bien dando á esta ecuacion otra forma, para facilitar su cálculo, siempre que se verifique la igualdad

$$\frac{e}{E} = \frac{\frac{m}{n + F}}{\frac{n}{n + (F_1 + f)}}$$

Al valor que resulta para $SQ'v'$, despues de sustituir por e el que acabamos de hallar, lo denomina Pambour *máximum absoluto de efecto útil*, atendiendo á que m y n son coeficientes numéricos y á la manera de ser y naturaleza de todas las demás cantidades, las cuales deben contemplarse como constantes y algunas de ellas con el valor mínimo que, ya por disposiciones particulares, ya arbitrando medios económicos, sea dable atribuirles.

Los valores correspondientes á la velocidad y resistencia útil, en el presente caso, se obtienen introduciendo tambien el de e en las ecuaciones ((20)) y ((22)); así pues

$$\bar{v} \left\{ \begin{array}{l} \text{Velocidad correspon-} \\ \text{diente al máximum} \\ \text{absoluto de efecto} \\ \text{útil.} \end{array} \right\} = \frac{E}{S} \times \frac{m M}{E(n + F_1 + f) + h(n + F)} \dots (28)$$

$$S\bar{q} \left\{ \begin{array}{l} \text{Resistencia correspon-} \\ \text{diente al máximum} \\ \text{absoluto de efecto} \\ \text{útil.} \end{array} \right\} = \frac{S}{1 + \delta} \times \frac{E(n + F_1 + f) + h(n + F)}{E} \times$$

$$\times \log. \text{ hip. } \frac{(E+h)(n+F)}{E(n+F_1+f)+h(n+F)} \dots \dots \quad (29)$$

$$S \bar{Q} \bar{v} \left\{ \begin{array}{l} \text{Efecto útil} \\ \text{máximo} \\ \text{absoluto} \end{array} \right\} = \frac{m M}{4+\delta} \log. \text{ hip. } \frac{(E+h)(n+F)}{E(n+F_1+f)+h(n+F)} \quad (30)$$

Ocioso parece indicar que, si deseáramos obtener $S \bar{Q} \bar{v}$ referido á otra unidad, habria que proceder como se hizo respecto á $S Q v$.

Si observamos que, así en $S Q' v'$ como en todas las demás espresiones del efecto útil, M crece con este indefinidamente, la única cuestion que respecto al volúmen de agua vaporizada puede interesarnos en el presente caso, es encontrar su valor, conocidas que sean \bar{v} y \bar{Q} dando esto lugar á una reflexion análoga á la del § 36.

§ 38. *Máxima carga que la máquina puede poner en movimiento.*—La mayor carga que la máquina puede poner en movimiento se determina aplicando al segundo miembro de la ecuacion ((22)) (§ 34) la teoría de máximas y mínimas: encontrados los dos primeros coeficientes diferenciales, resulta que $S Q' v'$ es máxima con el valor particular $e=E$.

Esta última condicion ha podido deducirse inmediatamente del valor de v' , recordando que á menor velocidad corresponde mayor carga.

Si en todas las fórmulas anteriores pertenecientes á la teoría que acabamos de esponer hacemos $e=E$, es evidente que habremos de obtener las que convienen al caso de obrar el vapor sin expansion; así como si en vez de admitir la ley de Pambour—durante el segundo pe-

riodo que se ha considerado en el trabajo de aquel— aceptamos la de Mariotte, habrá que hacer en las ecuaciones ((8)) y ((9)) y en todas las que se derivan de ellas, $n = 0$ y $m = \mu F$, siendo μ el volúmen relativo del vapor á la presión F.

§ 39. **Clasificación de las máquinas de vapor.**—Todas las máquinas que hasta el día—teniendo por objeto transmitir y utilizar el trabajo mecánico del vapor de agua—han merecido aplicaciones industriales de alguna importancia, pueden reunirse en varios grupos, cuyo número depende de las circunstancias á que se subordine la clasificación.

Si como base de esta, se toma la tensión del vapor en la caldera, se dividen en

Máquinas de baja presión, cuando esta es inferior á 1,5 atmósferas.

Máquinas de mediana presión, si se halla comprendida entre 1,5 á 4 atmósferas.

Y *Máquinas de alta presión*, desde 4 atmósferas en adelante: la máxima no suele exceder de 8 á 10.

Si se parte, de la manera de obrar el vapor en el cilindro durante un curso ó viaje del émbolo y de que el recipiente condensador funcione ó no, admítense cuatro categorías:

Máquinas con condensación y expansión.

Máquinas con condensación y sin expansión.

Máquinas sin condensación y con expansión.

Máquinas sin condensación ni expansión.

Si la clasificación obedece á la circunstancia de que

la accion del vapor tenga lugar alternativamente sobre las dos bases del émbolo ó sobre una sola, en este caso se dividen en

Máquinas de simple efecto.

Y *Máquinas de doble efecto.*

Si se tienen en cuenta las circunstancias de instalacion y servicio que prestan, todas pueden quedar comprendidas en los cuatro grupos siguientes:

Máquinas fijas, las establecidas de una manera permanente en paraje determinado.

Máquinas locomóviles, aquellas cuya permanencia en el sitio en que funcionan es accidental, y están provistas de ruedas para ser trasportadas de uno á otro, segun las necesidades lo requieran.

Máquinas locomotoras (*), las que arrastran los trenes ó convoyes sobre los caminos de hierro, trasportándose al propio tiempo.

Y *Máquinas marinas*, las destinadas á la navegacion.

A estas clasificaciones que acabamos de hacer, hay que añadir otra nueva, que reconoce por principio la marcha del émbolo en el cilindro. Aunque en las máquinas casi esclusivamente en uso, se mueve aquel órgano con movimiento rectilíneo-alternativo—vencidas al parecer las dificultades de proporcionarle uno circular-contínuo—se han construido algunas, en disposicion de recibir

(*) Aunque no se hayan generalizado tanto como en un principio hubo lugar á creer, tambien existen *locomotoras* destinadas á funcionar sobre los caminos ordinarios.

aplicaciones en grande escala, en las que el émbolo transmite directa é inmediatamente su movimiento circular al árbol general: y en tal concepto pueden dividirse en

Máquinas de rotacion directa ó propriamente rotativas.

Y *Máquinas no rotativas ó de rotacion indirecta*, por exigir el auxilio de ciertos órganos mecánicos para transformar en circular-continuo el movimiento rectilíneo de vaiven del émbolo.

Si bien cuando nos ocupemos de la descripcion de las principales máquinas fijas—á cuyo estudio damos la preferencia en estas lecciones por ser las que estamos llamados á manejar—nuevas denominaciones vendrán á completar las clasificaciones que se acaban de hacer, no terminaremos por ahora sin la observacion que, generalmente, al designar una máquina, se suele acompañar el nombre del inventor ó fabricante, y algunas veces esta sola indicacion basta para darlas á conocer, á consecuencia de la importancia que tiene la disposicion adoptada para ciertos órganos ó partes esenciales que entran en ellas.

A pesar de lo poco que precisa el *poder* de las *máquinas de vapor* la indicacion de que sean de 15, 20 ó cualquiera otro número de caballos dinámicos—pues variando convenientemente los elementos que influyen en el efecto útil se pueden obtener cifras que se separen mucho de las dadas como justa valoracion de este—en la práctica sin embargo, es dato que se acompaña siempre para completar el conocimiento de ellas, si bien añadiendo al número de *caballos* el calificativo de *nomi-*

nales, con lo que implícitamente se quiere expresar, ser de tal ó cual efecto en condiciones normales, condiciones que no se especifican y que convendría hacerlo circunstanciadamente.

§ 40. **Bondad de las máquinas de vapor, consideradas con relacion al efecto útil.**—Fundada, la segunda de las clasificaciones que preceden, en las circunstancias que caracterizan la manera de ser el vapor durante los dos períodos que se han considerado al establecer las teorías que respecto al trabajo mecánico de él, han sido espuestas, ella va á servirnos como punto de partida para comparar entre sí las distintas clases de máquinas y conocer su bondad relativa, en cuanto se refiera al mejor aprovechamiento del que contiene un volúmen dado.

A este fin, elegiremos las fórmulas correspondientes al trabajo máximo, para las comprendidas en las cuatro categorías que abraza la citada clasificacion, con objeto de que al colocarlas en igualdad de circunstancias, lo sean precisamente en las mas favorables al mayor rendimiento; pues de este modo, al propio tiempo que consigamos lo que nos proponemos, podremos formarnos idea de la crecida pérdida que presentan algunas de ellas, sujetas á una marcha determinada.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Máquinas} \\ \text{con expansión, y con} \\ \text{condensación ó sin ella} \end{array} \right\} \text{E. u. máx.}^{\circ} = \frac{mM}{1+\delta} \times 2,302585 \log. \frac{(E+h)(n+F)}{E(n+F_1+f)+h(n+F)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Máquinas sin} \\ \text{expansion y} \\ \text{condensación ó sin} \\ \text{ella. . . .} \end{array} \right\} \text{E. u. máx.}^{\circ} = \frac{mM}{1+\delta} \times \frac{E}{E+h} \left\{ 1 - \frac{n+F_1+f}{n+F} \right\}$$

:

Para evidenciar las consecuencias que de la compa-
racion se desprendan, referiremos el trabajo á 1 metro
cúbico de agua vaporizada á diferentes tensiones, susti-
tuyendo por m , n y F_1 los valores que convengan segun
haya ó no condensacion, y adoptando para f y δ , no los
verdaderos—que habrá que determinar en cada máquina
en particular—sino otros que deben contemplarse como
aproximados: ejecutados los cálculos se han obtenido las
cifras siguientes;

*Trabajo en kilogrametros, correspondiente á un metro cúbico
de agua vaporizada á diferentes tensiones.*

Tensiones en atmósferas.	MÁQUINAS			
	Con condensacion y espansion.	Con condensacion y sin espansion.	Sin condensacion y con espansion.	Sin condensacion ni espansion.
1	20 829 935	12 192 248	-1 138 741	-1 174 276
2	29 756 455	14 326 419	8 901 139	7 076 050
3	34 515 474	15 090 834	15 030 139	10 314 434
4	37 578 619	15 483 825	19 375 930	12 043 880
5	39 745 586	15 723 188	22 700 712	13 119 751
6	41 370 852	15 884 279	25 365 636	13 853 656
7	42 639 988	16 000 094	27 570 361	14 386 278
8	43 660 962	16 087 370	29 436 872	14 790 437
9	44 501 398	16 155 499	31 045 030	15 107 609
10	45 206 062	16 210 158	32 449 946	15 363 147
16	47 833 578	16 395 666	38 263 585	16 237 622
32	50 392 275	16 551 487	45 211 706	16 980 862

El exámen en conjunto de los números correspondientes á las cuatro clases de máquinas, nos hace ver:

Primero; que las cantidades de trabajo crecen, aunque con suma lentitud, con la tension del vapor, distando mucho de hacerlo proporcionalmente á sus valores, como es fácil observar si nos fijamos en 1, 2, 4, 8, 16 y 32 atmósferas.

Y segundo; que teniendo en cuenta solamente, la cantidad necesaria de combustible para producir 4 kilóg. de vapor, el trabajo, á medida que su fuerza elástica es mas elevada, presenta, si bien en grado muy distinto, algunas ventajas bajo el punto de vista económico.

De aquí pues, se desprende la conveniencia de emplear el vapor á las mas fuertes tensiones: pero la consideracion del riesgo á esplosiones que á cada paso ofrecerian los aparatos generadores; la dificultad de construccion por otra, y por último, la circunstancia de que la economía de combustible decreceria notablemente, como consecuencia de las mayores pérdidas de calor que en todos conceptos habia de haber, son poderosas razones para rechazar las elevadas tensiones mas allá de una determinada que, variable con las máquinas, ha fijado la práctica: los números de la tabla que estamos analizando justifican plenamente los que, como límite, han sido adoptados por ella.

En efecto, si observamos los valores del trabajo en las máquinas comprendidas en la *primera categoría*, ellos indican, el porque la tension no suele exceder ordinariamente de 4 atmósferas, y se consideran 5 ó 6 como un

límite que nunca se supera: los trabajos á 4 y 6 atmósferas son, con ligeras diferencias, $\frac{3}{4}$ y $\frac{4}{5}$ respectivamente del que corresponde á 32.

En segundo lugar, las de *condensacion sin expansion* son de todas las máquinas las que menos ventajas ofrecen para emplear el vapor á elevadas tensiones, tanto que á 32 atmósferas, el trabajo solo alcanza á ser 1,33 próximamente del que corresponde á 4 atmósfera; de aquí, que esta clase de máquinas sea siempre á baja presión.

En tercer lugar, en las de *expansion sin condensacion*, á cuyo género pertenecen las *locomotoras*, los trabajos crecen con suma rapidez hasta 8 ó 10 atmósferas, límite de la tensión del vapor en esta clase de máquinas.

Y por último, las de *sin condensacion ni expansion* son las que se encuentran en condiciones mas desfavorables, por el escaso rendimiento á todas las tensiones; esto justifica la completa abolicion de ellas.

La comparacion de las cifras que representa el trabajo en las cuatro clases de máquinas, hace ver tambien: primero, que la *expansion* es causa de los crecidos valores que alcanzan aquellas en las correspondientes á la primera y tercera categoría; siendo tal su influencia, que á 4 y 4 atmósferas respectivamente producen mayor efecto útil, que á 32, las pertenecientes al segundo y cuarto sistema; y segundo, que los efectos del aparato condensador van disminuyendo á medida que las tensiones son mas elevadas, como podemos verlo fijándonos en las dos primeras columnas.

Si en vez de las cantidades de trabajo, correspondientes á 1 metro cúbico de agua vaporizada á distintas tensiones, hubiéramos deseado averiguar las producidas por 1 kilóg. de vapor, ó por uno de combustible, ninguna dificultad habria podido ofrecer esto, despues de lo que dejamos dicho en las páginas anteriores. No hay para qué añadir que los números que se obtuvieran darian lugar á las mismas consecuencias y observaciones que quedan consignadas.

El ligero análisis que acabamos de hacer nos pone de manifiesto, que si el servicio particular á que se destinan las máquinas y circunstancias de localidad no vinieran á influir poderosamente en la eleccion, á no dudar la preferencia, en todos los casos, seria dada á las de *expansion* y *condensacion*, haciendo uso de tensiones poco elevadas (*).

(*) La comparacion de las cifras 16 551 487 y 16 980 862, marcadas con un asterisco (tabla § 40) podia dar lugar á creer que se habia padecido en los cálculos alguna equivocacion de importancia, toda vez que la primera debiera ser mayor que la segunda, como así acontece respecto á las demás contenidas en las columnas correspondientes: este resultado—que por anómalo que parezca no debilita las consecuencias que se han desprendido del examen de la tabla en cuestion—debe atribuirse á los valores particulares dados á *m* y *n*, valores que si bien apropiados para tensiones comprendidas entre ciertos límites, fijados por Pambour haya ó no condensacion, no convienen en el mismo grado cuando aquellas los abandonan.

De los números precitados, el mas afectado de error debe serlo el 16 551 487.

LECCION 3.ª

SUMARIO.

Partes que comprende una máquina de vapor, considerada bajo el punto de vista mas lato.—Generadores; partes principales que los constituyen.—Ligera clasificacion de las hullas y elementos combustibles que principalmente entran en ellas.—Medios empleados para producir una combustion completa.—Dimensiones y datos relativos á los hogares ordinarios.—Hogares fumivoros.—Chimeneas y conductos.

§ 41. **Partes que comprende una máquina de vapor, considerada bajo el punto de vista mas lato.**—Estudiado cuanto sirve de inmediato fundamento al trabajo mecánico del vapor, cuyas teorías—la de los coeficientes constantes y la de Pambour—hemos espuesto, vamos á ocuparnos de las dos partes principales, y que esencialmente distintas, entran á constituir las máquinas de vapor consideradas en el sentido mas lato, á saber: de los *generadores* destinados á la produccion de la fuerza motriz y de los *receptores ó máquinas de vapor* propiamente tales.

El interés que ofrece el estudio de unos y otros, es de la mas alta importancia para la industria en general: de

ellos depende la mayor ó menor economía que se realice en el combustible; pues en tal concepto dejan mucho que desear si atendemos á lo que la teoría mecánica del calor nos enseña.

§ 42. **Generadores; partes principales que los constituyen.**—Dando principio por el estudio de los generadores y refiriéndonos á las (fig. 1.^a, 2.^a y 3.^a, lámina 1.^a) que deben contemplarse como teóricas, es decir, propias solamente para guiarnos en la esplicacion, indicaremos las partes principales que los constituyen, sin detenernos por el pronto en la forma y disposicion particular de cada una de ellas, ni en los accesorios que los acompañan, cuyo exámen circunstanciado iremos haciendo oportunamente.

En principio, en todo *generador* hay que considerar, el *horno* EEE y la *caldera* C; aquel, para la produccion y reparticion del calor, esta para recibirlo. El *horno* comprende á su vez, el *horno* propiamente dicho FF y la parte destinada especialmente á activar la *combustion*, este es el objeto principal de la *chimenea* GG provista de su *registro* ó *regulador* H.

En el *horno* FF hay que distinguir tambien, el *hogar* YY y los *conductos* K, K, K por donde circula la llama lamiendo las paredes de la caldera al seguir la direccion que marcan las flechas *q, q, q*.

Y por último, en el *hogar* YY hay que estudiar; 1.º la parte rR que especialmente recibe la denominacion de *hogar* por ser donde se verifica la *combustion*: se encuentra colocada debajo de la caldera, pudiendo se-

pararse su forma de la prismática, que suele ser la mas general; 2.º la *parrilla s* sobre la que va el combustible; 3.º el *altar t* muro que detiene el combustible por la parte anterior de la parrilla, y que obliga al propio tiempo á que la llama se aproxime á la superficie inferior de la caldera, cuando, como se indica en la fig. 3.ª tiene alguna elevacion sobre el suelo *uu*: esta mayor altura no es necesaria si la parrilla se dispone convenientemente; y 4.º el *marco xx* sobre que está situada la *puerta ó puertas*, caso de haber dos, por donde se introduce el combustible: la *placa y* tiene por objeto alejarlas del fuego para que no se quemem y la *z*—que no siempre existe—amparar el macizo sobre que se apoya la estremidad anterior de la caldera. El espacio *rY* recibe el nombre de *cenicero*.

§ 43. Ligera clasificacion de las hullas.—

Antes de pasar mas adelante parece natural que demos una idea, siquiera sea ligerísima, del combustible empleado ordinariamente en la produccion del vapor, con tanta mayor razon, cuanto que sus circunstancias han de ser tenidas en cuenta al ocuparnos de los medios de producir una combustion completa.

La *hulla ó carbon de piedra* es el combustible que se emplea mas generalmente en los hogares destinados á la produccion del vapor.

El *coke*, que no es otra cosa que la *hulla* despues de haber experimentado un principio de combustion al abrigo del aire, volatilizándose las partes bituminosas, tiene su aplicacion tambien en las locomotoras.

Las *hullas* se dividen en *grasas*, *semigrasas*, *secas* y *muy secas*: las primeras arden con llama blanca y muy larga, produciendo humo y gran calor; en la parrilla se aglutinan ó apelonan los pedazos, obstruyendo el paso al aire; es la mas rica en elementos combustibles: las *muy secas* son las mas compactas y arden con dificultad produciendo llama corta: las *semigrasas* y *secas* participan en menor grado de los caracteres de las otras dos, siendo las que generalmente se emplean en los hogares.

Los carbones se clasifican tambien segun la magnitud de los pedazos, en *grueso*, *menudo* y *todo-uno* ó *mezclado*; este último es tal como sale generalmente de la mina, sin la ulterior operacion de separar lo grueso de lo menudo.

El *carbono* y el *hidrógeno* son los dos elementos combustibles que principalmente entran en la hulla; uno y otro se combinan con el oxígeno á las temperaturas de 400° y 500° respectivamente: el primero varía entre 70 y 90 p^o/_o; el segundo, con ligeras diferencias, viene á formar el 5 p^o/_o.

§ 44. **Medios empleados para producir una combustion completa.**—Despues de haber dado á conocer de los generadores, aquellas partes que mas ó menos influyen en la economía del combustible; conocidos tambien los elementos principales que entran en la hulla, de cuyas clasificaciones hemos indicado lo que puede convenir á nuestro objeto; y penetrados por último, de que las investigaciones para realizar aquella en mayor ó menor grado, deben dirigirse á todo cuanto

contribuya á una combustion completa y al mejor aprovechamiento del calor que se desprenda de esta, vamos á esponer someramente los principales medios, que obedeciendo á estas ideas han sido ensayados, algunos con éxito satisfactorio.

§ 45. *Volúmen de aire necesario para la combustion de 1 kilóg. de hulla.*—El volúmen de aire, á la temperatura ordinaria, necesario para que su oxígeno produzca la combustion completa del carbono que contiene 1 kilóg. de hulla—prescindiendo, por la pequeña cantidad que entra, del que exige el hidrógeno—se eleva próximamente á unos 9 metros cúbicos; pero los hogares mejor dispuestos, sin conseguir aquella, consumen de 17 á 18.

La pérdida de calor ocasionada por el que arrastra el aire que no toma parte en la combustion—suponiendo que dicha cantidad sea mitad del que entra por el hogar y teniendo en cuenta la temperatura de los gases al salir por la chimenea, 300° poco mas ó menos—puede calcularse sin gran error en un 12 p %.

En el estado actual de nuestros hogares, semejante pérdida, por crecida que parezca, es necesaria; lejos de atenuarla, la haríamos mayor disminuyendo ó aumentando el volúmen de aire, que haya de alimentar la combustion; así pues, 18 metros cúbicos por kilógramo de hulla es el volúmen que se considera como mas conveniente, y por tanto el que nos servirá de base para el cálculo de las dimensiones de los hornos, en cuyo estudio vamos á entrar dando principio por el *hogar*.

§ 46. *Hogar.*—Ya hemos indicado que en esta parte del horno se verifica la combustion.

Las dimensiones del *hogar propiamente dicho* y las del *cenicero*, disposicion y magnitud de la *parrilla*, y modo de alimentar esta, contribuyen poderosamente á que aquella sea mas ó menos completa.

§ 47. *Consideraciones que fijan la magnitud del hogar propiamente dicho.*—La profundidad del *hogar* depende; primero, del espesor del combustible—espesor variable con las dimensiones de la *parrilla*, naturaleza y magnitud de los pedazos—y segundo, de la altura necesaria para el desarrollo y desprendimiento de la llama.

Si el espesor es mayor que el conveniente, la combustion será incompleta; y si menor, el aire pasará sin que una gran parte se desprenda de su oxígeno.

Respecto á la altura, hasta la caldera, del espacio que queda sobre el combustible, solo diremos que si es muy grande relativamente á la que debe haber, no se aprovechará todo el calor de la llama que se produzca; y si muy pequeña, se contraría el desarrollo de esta última, con esposicion de quemar el material de aquel recipiente.

La *latitud y longitud* del *hogar* dependen de las dimensiones de la *parrilla*.

§ 48. *Consideraciones que fijan la magnitud de las parrillas.*—Para fijar la magnitud de estas deben tenerse en cuenta principalmente, tres consideraciones: cantidad de combustible que se haya de quemar en la unidad

de tiempo; transmitir á la parrilla el mayor calor posible, y no hacer penoso su servicio.

En efecto, de dos parrillas una mas grande que otra, pero que hayan de contener la misma cantidad de combustible, el espesor de este será menor en la primera; si admitimos que en ambas se renueve aquel por cuartas partes—proporcion bastante aceptable en la práctica para una marcha regular—es evidente, como ya se ha indicado en el párrafo anterior, que la combustion será mas incompleta en la de menores dimensiones, porque el mayor espesor obstruirá el paso del aire que la activa; por el contrario, si para atenuar este inconveniente se carga por mitades en la pequeña, entonces cada mitad nueva sola participará del calor correspondiente á la otra que queda en la parrilla, y la actividad del fuego decrecerá tambien en este caso.

En segundo lugar no es menos evidente, que cuanto mayor sea la parrilla, lo será la accion del fuego sobre la superficie de la caldera que se encuentra encima y por tanto la vaporizacion: en tal concepto, la *latitud* conviene sea igual al diámetro de aquella.

Ultimamente, la *longitud* debe obedecer á la consideracion de no hacer muy penoso el servicio de carga; esto requiere que aquella no esceda de 2 metros.

De todas las reflexiones anteriores se desprende la conveniencia del empleo de grandes parrillas.

A mas de lo que queda dicho respecto á las dos dimensiones principales de estas últimas, hay que considerar tambien que, formadas con barras generalmente

de hierro colado, colocadas al lado unas de otras y descansando por sus extremos en otras dos trasversales, no es indiferente la seccion de ellas, la distancia que las separa, ni la relacion que deben guardar entre sí la *superficie libre* y la *total de la parrilla*.

Para facilitar la operacion de descargar ó limpiar y evitar las obstrucciones, las barras suelen ser generalmente de seccion trapezoidal con el lado menor abajo; la distancia entre cada dos, se fija por la magnitud de los pedazos del combustible que se emplea; y por último, la cantidad que de este haya de quemarse en un tiempo dado, sirve de base tambien para fijar la relacion entre las superficies indicadas anteriormente.

Respecto á la inclinacion de las parrillas, circunstancia que no debe olvidarse, unas son *horizontales* y otras *inclinadas* de delante atrás y de 15 á 25°; las últimas son preferibles.

§ 49. *Consideraciones que fijan las dimensiones del altar, puerta de carga y cenicero.*—La altura del altar depende esencialmente del espesor del combustible, y de que proporcione una seccion conveniente para el paso de los gases: el ancho es igual al de la parrilla.

La *puerta ó puertas de carga*, que de ordinario son de hierro colado, han de tener tales dimensiones, que permitan fácilmente hacer el servicio. A pesar de la placa de hogar, se deterioran pronto y son causa permanente de pérdida de calor; por cuya razon se aconseja cubrir sus caras interiores con alguna materia refractaria ó adosarles una placa que se reemplace fácilmente.

El *cenicero* debe llenar dos requisitos: uno, dejar paso suficiente al aire; y otro, permitir que sin dificultad pueda hacerse la limpia de la parrilla.

§ 50. *Modo de alimentar las parrillas.*—El procedimiento mas generalizado para alimentar las parrillas, consiste en cargas periódicas y pequeñas para que la combustion sea lo mas completa posible; conviniendo asimismo, relacionar el movimiento de las puertas de carga con el registro de la chimenea, para evitar la entrada del aire al ejecutar la operacion.

§ 51. **Dimensiones y datos relativos á los hogares ordinarios.**—Espuestas las consideraciones que deben tenerse presentes al fijar la magnitud de las partes que constituyen los hogares ordinarios, vamos á indicar en el siguiente estado—antes de pasar á describir disposiciones particulares ensayadas con éxito mas ó menos favorable—sus principales dimensiones para que puedan servir como de norma en el trazado de ellos, consignando al propio tiempo algunos datos que no carecen de interés.

HOGARES ORDINARIOS.

Distancia desde la caldera á la parrilla.	{ 35 á 45 centímetros.	{ Si la hulla es algo menuda, ó seca produciendo llama corta, esta distancia puede reducirse hasta dejarla comprendida entre 25 y 30 centímetros.
Superficie total de la parrilla.	{	{ Un decímetro cuadrado por cada 0,4, á 0,6 de kilóg. de carben que se queme en una hora.
Longitud de id.	{	{ La máxima no ha de esceder de 2 metros, que en todo caso debe considerarse como un límite, al que no conviene llegar.

Ancho de id.	{	Esta dimension, que debe ser la mayor posible, está limitada por el diámetro de la caldera.
Relacion entre la superficie libre y total de la parrilla.	{	Variable entre 0,25 y 0,125.
Inclinacion de la parrilla.	{	Las parrillas pueden ser horizontales ó inclinadas; la inclinacion de delante atrás, varía entre 15° y 25°.
Espesor de las barras por la parte superior.	{	Los espesores que mas comunmente se emplean varían entre 25 y 35 milímetros. Las barras, casi siempre de seccion trapezoidal, suelen estar provistas segun su longitud de un nervio mas ó menos pronunciado, cuya mayor altura corresponde á la parte media.
Idem por la parte inferior.	{	
Separacion entre cada dos barras.	{	25 milímetros de espesor y 5 de separacion son dimensiones que convienen para carbonos tanto gruesos como menudos.
Dimension de la placa de hogar en sentido de la longitud de la parrilla.	{	25 á 50 centímetros.
Altura del altar sobre el fondo de la parrilla.	{	10 á 12 centímetros.
Altura de la puerta.	{	30 á 35 centímetros.
Ancho de idem.	{	40 á 50 centímetros.
Altura del cenicero á la entrada.	{	60 á 80 centímetros como minimum.
Ancho del cenicero.	{	Conviene que el cenicero tenga una puerta ó registro análogo al de las chimeneas para evitar la entrada del aire en el momento de cargar. Igual al de la parrilla.
Espesor del combustible en la parrilla.	{	Para el carbon menudo no debe esceder de 8 centímetros. El coke forma una capa cuyo espesor es de 50 á 60 centímetros por término medio.

Las paredes de los hogares ordinarios—prescindiendo de la que constituye el marco y puertas de carga—están formadas de materiales suficientemente refractarios, que puedan resistir sin deterioro prematuro la accion intensa del fuego.

El combustible á que se hace referencia en el estado anterior, es la hulla semigrasa.

Las fig. 1.^a, 2.^a, 3.^a, 4.^a, 5.^a y 6.^a, lám. 2.^a, indican detalladamente las distintas partes de un hogar ordinario; el *marco ó placa del frente del horno*—que así suele llamarse tambien—sobre que están situadas las puertas de carga, se ha prolongado para recibir la del cenicero.

§ 52. **Hogares fumivoros.**—Los *humos* en cualquier horno que se produzcan, son uno de los efectos mas inmediatos que demuestran lo incompleto de la combustion; y esto, porque sus elementos esencialmente combustibles no han podido quemarse por falta de aire ó temperatura, ó por ambas causas.

Los *hogares fumivoros* tienen por objeto hacerlos desaparecer si se han formado, ó impedir su formacion: para lo primero, se les obliga á pasar sobre combustible encendido, ó á través de él, ó bien se procura que una corriente de aire complete la combustion mezclándose con los gases que han escapado á ella; para lo segundo, se procura alimentar las parrillas por pequeñas porciones y de una manera casi continua. Así pues, la *fumivoridad* está fundada siempre en el principio de allegar á la combustion *aire y temperatura* en cantidad suficiente.

§ 53. *Hogares fumivoros, en que los humos pasan sobre el combustible encendido ó al través de él.*—*Parrilla ordinaria.*—El primer medio que ocurrió al ilustre Watt para obtener la fumivoridad de los hogares fué suponer dividida la parrilla ordinaria, que inclinó hasta 25°, en dos partes, y arreglar las car-

gas de modo que el carbon fresco se colocara en la mas inmediata á la puerta, prévia la operacion de impeler siempre hácia adentro el que, ya en estado incandescente, yacia sobre ella: de este modo los humos que se desprendian de la primera parte ardian al pasar por la segunda.

Esto mismo se ha conseguido algo mas cumplidamente formando la parrilla de un trozo inclinado y otro horizontal; este último es el destinado á recibir el carbon encendido. (Véase fig. 7.^a, lám. 2.^a)

Parrilla escalonada.—La fig. 8.^a la representa: está formada de placas horizontales que se cubren sucesivamente en una estension mas ó menos grande; colocado el carbon sobre las primeras, y á medida que se va quemando, se impele hácia las inferiores y el trozo de parrilla ordinaria que se encuentra en la parte mas baja.

La entrada del aire tiene lugar por los espacios que dejan las placas entre sí, disposicion muy conveniente para los carbonos menudos: ofrece sin embargo para los secos y de corta llama, la contra de que se vayan aquellas alejando de la caldera á medida que se separan mas de la puerta de carga.

§ 54. *Hogares apareados.*—Tambien se ha conseguido quemar los humos con el empleo de dos hogares contiguos, en que alternativamente van recibiendo el carbon fresco.

Hay disposiciones en que de cada uno de ellos—que por medio de registros pueden á voluntad comunicar con

el primer conducto que está debajo de la caldera—arranca un tubo que viene á desembocar en el cenicero del otro: estos tubos tienen también sus registros particulares para interrumpir ó no entre sí los hogares, su doble comunicacion.

Se coloca el carbon fresco en uno de los últimos, así que se haya cerrado su registro correspondiente al conducto inferior de la caldera, y abierto el del cenicero: en el otro hogar, la disposicion de los registros está invertida, y á mas, el carbon que tiene la parrilla se supone que está bien encendido: segun esto, fácilmente se comprenderá que los humos formados en el primero se inflamen, y no aparezcan, en la chimenea, al atravesar el segundo, region cuya temperatura es elevada y el aire en cantidad suficiente.

Este juego de los hogares en que cada uno puede considerarse como una retorta de destilacion cuando recibe el carbon fresco, es alternado. El cuidado que exigen los registros y la facilidad con que se inutilizan son inconvenientes graves de este sistema.

Una de las disposiciones que al parecer ha dado excelentes resultados y muy recomendable por su sencillez, es la indicada, fig. 9.^a

Son dos hogares reunidos cada uno con su puerta de carga, y separados en la parte anterior por la placa P. Las parrillas se cargan alternativamente, teniendo siempre la precaucion, antes de introducir el carbon fresco, de echar hácia adentro el que va á ser reemplazado, y que se supone en estado incandescente.

La fig. 10 manifiesta un hogar en que los humos y la llama de la primera parrilla pasan al través de la segunda, cuyo combustible debe estar encendido: esta disposicion ofrece la contingencia de destruirse pronto la parte inclinada, por la elevada temperatura que se desarrolla.

§ 55. *Fumivoridad obtenida por una corriente de aire.*

—Los hogares que representan las fig. 11 y 12 reconocen por principio una corriente auxiliar de aire que, mezclándose con los humos mas allá del altar, produce su combustion.

En la fig. 12 *ab* indica una placa de hierro con orificios para dividir la masa de aire, y evitar los inconvenientes que ofrece la disposicion inmediata en que la corriente obra contra la caldera á manera de soplete, produciendo una accion demasiado viva que tiende á inutilizarla pronto.

La inspeccion de la fig. 13 demuestra claramente la razon de ser de las cámaras *a, b, c* y modo de establecerse las corrientes de aire que arrastrando en su movimiento á los gases se mezcla con ellos, produciendo una combustion mas completa.

Todos los hogares fundados en el principio que sirve de base á los tres anteriores, ofrecen la no pequeña contra de que siendo muy oxidante la llama de humo y aire en escesiva cantidad, destruye las calderas: en la imposibilidad de determinar la necesaria, conviene reducirla aun cuando el humo aparezca algunas veces, siempre preferible á lo primero.

§ 56. *Fumivoridad obtenida por alimentacion continua.*
—*Sistema de Boulton y Watt.*—Consiste este sistema, fig. 14, en una parrilla circular móvil alrededor de un eje vertical pasando por su centro. La alimentacion se hace por medio de una tolva cuya abertura inferior es alargada y en direccion de un rádio.

Un registro cuyo movimiento se halla relacionado con el de la máquina, aumenta ó disminuye convenientemente la cantidad de combustible, contribuyendo de este modo á mantener entre límites dados la velocidad del piston.

§ 57. *Sistema de Jucke perfeccionado por Tailfer.*—Una cadena sin fin, que envuelve á los tambores *a* y *b*, formada de pequeños eslabones constituye la parrilla en este sistema. (Véase la fig. 15.)

El movimiento de rotacion que recibe uno de aquellos el *a*, proporciona uno de traslacion á la parrilla en el sentido que indica la flecha *c*.

Los rodillos *dd* tienen por objeto mantener tendida la cadena de modo que la cara superior de la parte que constituye propiamente la parrilla, se halle siempre en un mismo plano.

Para la introduccion del combustible hay tambien una tolva, cuya cara posterior siendo movable hace veces de *registro* y contribuye á regularizar la marcha de la máquina: á medida que avanza la parrilla se va quemando el primero, que reducido á cenizas, cae por el extremo inferior de la última en el carrillo *e* provisto de ruedas para retirarlo fácilmente.

De los sistemas de alimentacion continúa, ninguno al parecer, ha resuelto tan cumplidamente la cuestion de *fumivoridad* como el que nos ocupa; pero á pesar de sus reconocidas ventajas, difícil será evitar las contras que son consiguientes á todos los que, análogos á él tengan las piezas que constituyen su mecanismo, sometidas á una elevada temperatura, sin contar por otra parte con las condiciones especiales que en general requiere el combustible que haya de quemarse en ellos.

§ 58. **Chimeneas y conductos.**—*Chimeneas.*—La *chimenea* tiene por objeto principal atraer el aire hácia el hogar en cantidad suficiente á la combustion: á los productos de esta antes de pasar á aquella, se les obliga á recorrer ciertos *conductos* para que lamiendo durante su trayecto la superficie de la caldera la trasmitan gran parte del calor que llevan.

A veces acontece que la *chimenea* no se encuentra inmediatamente despues del último *conducto*, en este caso es preciso un *canal* ó *galería* que lo una con el extremo inferior de ella.

Como la cantidad de gases que corre la *chimenea* depende principalmente de la magnitud del orificio superior y velocidad al pasar por él, vamos á encontrar el valor formular de esta última, sin cuyo conocimiento no podriamos dar solucion á otras cuestiones de sumo interés.

§ 59. *Determinacion de la velocidad de los gases en las chimeneas.*—El movimiento ascendente de los gases en una *chimenea* obedece al principio de Arquímedes.

Supongamos por el momento, hipótesis muy admisible, que es aire más ó menos dilatado, el fluido que recorre el tubo AB, fig. 1.^a, lám. 3.^a, que representa el hueco interior de una chimenea; y sea también

- V ... volúmen de..... AB
 p ... peso del aire contenido en..... id.
 P ... peso de un volúmen V de aire exterior.
 h ... altura de..... AB
 T ... temperatura del aire que recore..... id.
 t ... temperatura del aire exterior.

Si haciendo abstracción de las paredes del tubo AB, imaginamos que una película muy ténue envuelve á todo el fluido que se encuentre en él, es evidente por el principio antes citado, que este cilindro de aire será solicitado por un esfuerzo $P-p$.

Por otra parte, si el volúmen V de aire exterior lo reemplazamos por otro que, siendo de la misma base y equivalente en peso, contenga aire en iguales circunstancias al de la chimenea ó tubo AB, es evidente que esto no habrá alterado las condiciones del movimiento; y por tanto, que la velocidad con que tienda el aire á elevarse en aquella será precisamente la que corresponda á una altura igual á la diferencia entre las que tengan los dos cilindros.

Para facilitar la inteligencia de lo que acabamos de indicar, CD representa en la fig. 1.^a el volúmen V de aire exterior, igual al del tubo AB y en comunicación con este por el canal horizontal AC que se puede supo-

ner que no existe; mn es la seccion comun á los dos volúmenes.

Ahora bien, si tomamos como unidad la del aire á 0° , los pesos específicos de los fluidos que se encuentran en AB y CD serán respectivamente $\frac{1}{1+\alpha T}$ y $\frac{1}{1+\alpha t}$: α es el coeficiente de dilatacion.

Cuando el aire que se encuentra en CD (*) alcance la temperatura T° , la altura del nuevo volúmen será

$$H = h \times \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha t}$$

y la velocidad con que se precipite,

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2g(H-h)} = \sqrt{2gh \left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t} - 1 \right)} = \\ &= \sqrt{2gh\alpha(T-t)} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

despues de hecha la division y suprimir los términos afectados de α^2 ; y como t suele ser muy pequeña respecto á T la fórmula quedará todavía mas simplificada, siendo

$$v = \sqrt{2gh\alpha T} \dots\dots\dots (2)$$

No siendo lo que circula por la chimenea solo aire atmosférico, como se estableció hipotéticamente, sino una mezcla de distintos gases, si quisiéramos tener en

(*) Suponemos que no existe la parte horizontal AC; si así no fuera, en vez del volúmen DC tomaríamos el DC mn .

cuenta esta circunstancia, sería preciso introducir en las dos fórmulas anteriores el peso específico de aquella á la temperatura 0°, lo que no ofrecería dificultad; pero atendiendo á que escasamente una mitad del aire que se precipita en el hogar toma parte en la combustion, y á los productos que se obtienen de esta, los nuevos valores de v difieren muy poco de los hallados, por lo que admitimos y continuaremos admitiendo aquel supuesto, que facilita algun tanto los cálculos.

Tanto la fórmula ((1)) como la ((2)), que hacen ver la razon en que crecen las velocidades respecto á las alturas de las chimeneas, deben contemplarse como teóricas, toda vez que al calcularlas se ha prescindido del rozamiento contra las paredes, cambios bruscos de movimiento y de cuantas resistencias tienden á disminuir el valor de v ; de aquí pues la necesidad de afectar aquellas espresiones de un coeficiente numérico, que si bien variable, puede considerarse como comprendido, en las circunstancias que mas generalmente se presentan, entre 0,18 y 0,24.

De las numerosas y delicadas esperiencias de Pécelet resulta que la longitud de los tubos y canales ejerce escasa influencia en el valor de la velocidad, y que de todas las resistencias, las mayores son las que se originan al paso del aire por la parrilla y combustible.

§ 60. *Tiro de una chimenea y valor máximo de él.*—El tiro de una chimenea se mide por la cantidad de aire que en 1" pasa por el orificio superior de ella; designándola por C tendremos, $C = S v' d$ siendo

:

S ... la superficie del orificio superior;
 v' ... velocidad efectiva de los gases al pasar por él, y
 d ... peso específico de estos.

Si representamos por *m* el coeficiente que debe afectar á la velocidad teórica para obtener la efectiva, y por *d* ponemos su valor aproximado $\frac{1^{k,3}}{1+\alpha T}$ el de C se convertirá en

$$C = mS \sqrt{2gh\alpha(T-t)} \times \frac{1^{k,3}}{1+\alpha T} \dots\dots (3)$$

espresion en la que C crece, en razon directa de la superficie del orificio y raiz cuadrada de la altura de la chimenea; y por tanto, que para un tiro determinado importa mucho aumentar la primera, dejando reducida la segunda á lo que exijan otras circunstancias que especialmente suelen ser de localidad.

La consideracion de que aumentando la temperatura crece la velocidad, uno de los factores de C, y disminuye el relativo al peso específico, nos conduce á la cuestion de averiguar si existe algun valor para aquella, que convierta en máximum á C.

A este fin póngase la espresion ((3)) bajo la forma

$$C = M \sqrt{\frac{T-t}{(1+\alpha T)^2}}$$

y hallando los dos primeros coeficientes diferenciales, veremos que es máxima con el valor

$$T = \frac{1}{\alpha} + 2t = 272,5 + 2t;$$

P..... { el peso de aire para la combustion de 1 kiló-
 { gramo de aquel;

en 1" se necesitarán $\frac{NP}{3600}$ kilóg. de aire, cuyo valor debe

ser igual al representado por el tiro; así pues

$$1_{1,3} \frac{S \sqrt{2gh\alpha(T-t)}}{1 + \alpha T} = \frac{NP}{3600}$$

de donde

$$S = \frac{NP}{3600} \times \frac{1 + \alpha T}{1,3 \sqrt{2gh\alpha(T-t)}} = 23 \frac{N}{\sqrt{h}} \text{ c.}^{\circ} \text{ cuad.}^{\circ} \dots (4)$$

Péclét, despues de valorar todas las resistencias de que hemos prescindido, encuentra

$$S = 80 \frac{N}{\sqrt{h}} \text{ cent.}^{\circ} \text{ cuad.}^{\circ} \dots \dots \dots (5)$$

La fórmula de Montgolfier, en la que N y h tienen la misma significacion que en las ((4)) y ((5)), es

$$S = 100 \frac{N}{\sqrt{h}} \text{ cent.}^{\circ} \text{ cuad.}^{\circ} \dots \dots \dots (6)$$

Si comparamos el valor ((4)) con el ((6)), preferible al de Péclét, veremos justificados los coeficientes con que se suele afectar á la velocidad teórica para obtener la efectiva.

De todas las reglas y fórmulas, la de d'Arcet deducida de numerosas esperiencias es la mas sencilla; consiste en dar á la chimenea una altura de 10 metros y una seccion de tantos decímetros cuadrados, como número de veces haya de quemarse de combustible en una hora, la

cantidad de 3 kilóg. á 3,3 de kilóg.; esta regla conduce á la fórmula ((6)) (*).

Cuando se quiere poner la seccion de la chimenea en funcion de la fuerza dinámica de la máquina, suele emplearse la fórmula

$$S(\text{seccion en decím.}^2 \text{cuad.}^2) = 4 \frac{F(\text{fuerza en cab.}^2)}{\sqrt{h}(\text{altura en met.}^2)} \dots (7)$$

fácil de establecer, siempre que se acepte que el consumo de combustible en las buenas máquinas de vapor es por término medio de 3 kilóg. á 3,3 de kilóg. por caballo y hora; pues no hay mas que aplicar la regla de d'Arcet partiendo de una altura de 16 metros en vez de los 40 que ella establece (**).

Las chimeneas suelen recibir de ordinario mas de 40 metros para evitar los inconvenientes de los humos; pero una vez salvados, no deben elevarse á mayor altura, tanto porque la mano de obra encarece notablemente,

(*) En efecto, cuando la altura sea solamente de 10 metros, la seccion será $S = \frac{N}{3,3}$ decímetros cuadrados, teniendo N la significacion que ya conocemos; y cuando aquella sea igual á h , tendremos designando

por S' la seccion correspondiente $\frac{S'}{S} = \frac{\sqrt{16}}{\sqrt{h}}$ y por tanto

$$S' = 100 \frac{N}{\sqrt{h}} \text{ centímetros cuadrados.}$$

(**) Designando por S la seccion en decímetros cuadrados cuando la altura es 16 metros, y por S' la id. siendo aquella h tendremos

$$\frac{S'}{S} = \frac{\sqrt{16}}{\sqrt{h}} \text{ de donde } S' = 4 \frac{S}{\sqrt{h}} = 4 \frac{F(\text{fuerza en caballos})}{\sqrt{h}(\text{altura en metros})}$$

Para evitar los efectos nocivos del viento y de las lluvias debe colocarse sobre el remate de las chimeneas—que en las de ladrillo suele ser de piedra—una placa horizontal de hierro colado mas ancha que el orificio, sostenida por cuatro piés cuya altura sea igual al diámetro ó lado de aquel.

El *registro* para moderar el tiro se coloca algunas veces sobre la seccion superior, pero generalmente en la parte inferior: las disposiciones mas usuales están indicadas en las fig. 2.^a, 3.^a, 4.^a, 5.^a, lám. 3.^a

§ 62. *Conductos*.—Ya hemos manifestado que los gases, producto de la combustion, antes de pasar á la chimenea, recorren ciertos *conductos* para transmitir á la caldera—y este es el objeto principal de ellos—la mayor parte del calor que llevan.

Su forma puede ser *cilíndrica*, en cuyo caso están constituidos por las paredes de la caldera y reciben mas particularmente la denominacion de *tubos*; ó bien afectan la de *prismas*, de seccion mas ó menos aproximada á la rectangular: cuando esto último acontece, una de las caras pertenece á aquel recipiente; y en caso de ser todas de ladrillo refractario, uno ó mas cuerpos de la caldera se colocan, para que los envuelva la llama, en el espacio que comprenden aquellas.

En la antigua caldera marina los conductos por donde circulan los gases se conocen con el nombre de *galerías*: son de seccion rectangular y están formadas por las paredes mismas del recipiente.

Los *conductos* en general, pueden ser á *trayecto di-*

recto ó á *circulacion*: los primeros tienen un extremo en el hogar y terminan en la chimenea; y los segundos, solo despues de hacer uno ó mas retornos formando una série de *conductos propiamente tales*, que se suceden los unos á los otros, desembocan en aquella, exclusion hecha del caso que hubiere al fin un canal que recogiese los gases antes de entrar en ella.

§ 63. *Dimensiones de los conductos*.—Debiendo ser recorridos estos por un fluido cuya densidad es variable con la temperatura desde el hogar, donde próximamente tiene 1200°, hasta la chimenea en que decrece á 300°, si su velocidad ha de ser constante como así conviene, y ha de pasar como forzosamente debe acontecer, igual cantidad de él por todas las secciones, es evidente que estas han de ir disminuyendo proporcionalmente al binomio $(1 + 0,00367.T)$ (*), en que T es la temperatura del fluido en la seccion que se considera.

La falta de datos respecto á la temperatura de los gases en los diversos puntos de su trayecto, temperatura

(*) En efecto sean:

S, S' ... las secciones correspondientes á dos puntos cualesquiera de un conducto;

C, C' ... las cantidades de fluido que pasan respectivamente por S, S' en la unidad de tiempo;

T, T' ... las temperaturas del fluido—que suponemos sea aire mas ó menos dilatado—al pasar las secciones S, S';

y V, V' ... las velocidades respectivas en S y S'.

Segun esto, y tomando como unidad para las densidades la del aire á 0° tendremos:

$$\left. \begin{aligned} C &= S V \times \frac{1}{1 + 0,00367.T} \\ C' &= S' V' \times \frac{1}{1 + 0,00367.T'} \end{aligned} \right\} \frac{S}{S'} = \frac{1 + 0,00367.T'}{1 + 0,00367.T}$$

en el supuesto de ser $C = C'$ y $V = V'$.

en general distinta para cada horno, ha hecho recurrir á reglas prácticas que proporcionen secciones convenientes para la marcha de aquellos: la mas sencilla y empleada con frecuencia, aunque separándose de los verdaderos principios, es dar á los conductos una seccion igual al orificio superior de la chimenea y superficie libre de la parrilla. La adoptada en estas lecciones es la siguiente: *determinese de la chimenea, la seccion correspondiente al lado superior de la entrada del canal ó conducto, teniendo en cuenta las dimensiones del orificio de salida, conocidas por la fórmula ((6)) (§ 61) y la pendiente de las generatrices interiores; determinese igualmente, del primer conducto, la seccion mas inmediata al hogar, haciéndola la mayor posible dentro del limite 1 decímetro cuadrado á 1,2 por kilogramo de combustible que se queme en una hora; colocadas ambas secciones—que supondremos de forma cuadrada—perpendicularmente á un plano, paralelos entre sí todos sus lados, y distantes una de otra la longitud desarrollada de los conductos que la llama ha de recorrer sin dividirse hasta entrar en la chimenea, el tronco piramidal que resulte formado haciendo mover convenientemente una línea recta que se apoye sobre sus perímetros nos dará á conocer las correspondientes á cualquier punto de aquellos; sin embargo de esto, debemos prevenir, que en los recodos, si son algo pronunciados, hay que aumentar ligeramente la seccion que resulte para compensar la pérdida de velocidad que se origina, siempre que un fluido cambia de direccion.*

Respecto á la longitud total de los conductos, aunque

:

muy variable, su máximo se fija por la consideracion que la temperatura en la seccion mas distante esceda á la del agua, al menos en 100°.

Las chimeneas, así las de ladrillo ordinario como las de palastro, llevan generalmente en su interior una camisa de *ladrillos refractarios*; con estos se revisten tambien las paredes de los conductos y galerías.

Chimeneas y conductos correspondientes á hornos de máquinas fijas.

Seccion del orificio superior de las chimeneas	Regla de d'Arctet	Dando á la chimenea 10 metros de altura, la superficie del orificio superior en decímetros cuadrados estará espresada por $\frac{N}{3}$ ó $\frac{N}{3,3}$, siendo N en kilogramos el combustible consumido en una hora. Si se le dá mayor altura, las relaciones anteriores habrá que multiplicarlas por $\sqrt{\frac{10}{H}}$ siendo H en metros el nuevo valor de aquella.
	Fórmula de Montgolfier..	S (en centímetros cuadrados) = $100 \frac{N \text{ (kil. de comb. consumido en 1 hora)}}{\sqrt{H \text{ (altura de la chimenea en metros)}}$
	Fórmula en funcion de la fuerza de las máquinas, espresada en caballos.....	S (seccion en decímetros cuadrados) = $4 \frac{F \text{ (fuerza en caballos)}}{\sqrt{H \text{ (altura en metros)}}$
Altura de las chimeneas.....	De 10 á 40 metros: las hay mas elevadas. La altura mas allá de 15 á 20 metros obedece á circunstancias locales, que imponen la necesidad de evitar los inconvenientes de los humos.	
Relacion entre los diámetros de los extremos de las chimeneas de ladrillo, cuando no son constantes....	$D = d + \frac{1}{x} H \quad \left\{ \begin{array}{l} d \dots \text{Diámetro interior de la base superior;} \\ D \dots \text{id. inferior;} \end{array} \right.$ $D' = d' + \frac{1}{x'} H \quad \left\{ \begin{array}{l} d' \dots \text{Diámetro exterior de la base superior;} \\ D' \dots \text{id. inferior;} \end{array} \right.$ <p>x varía entre 50 y 60. x' id. entre 25 y 37.</p>	
Superficie, en el primer conducto, de la seccion mas próxima al hogar.	La mayor posible dentro del límite, 1 decímetro cuadrado á 1,2 por kilogramo de combustible que se queme en una hora.	
Superficie de la seccion á la entrada de la chimenea...	Igual á la de la seccion de la chimenea, correspondiente al lado superior de la entrada; esta ultima se determina teniendo en cuenta la superficie del orificio superior y la inclinacion de las generatrices interiores.	

§ 64. *Chimeneas descendentes.*—Tienen por objeto, utilizar el calor perdido en las chimeneas ordinarias: á este fin, el extremo superior de estas se pone en comunicacion por medio de un canal horizontal, donde se enfrían los gases, con otro descendente que les dá salida por su parte inferior.

Semejante disposicion constituye un sifon cuyos brazos son recorridos por fluidos de distintas densidades; y por tanto, para determinar la altura motriz, hay que proceder á encontrar la de un volúmen de aire á la temperatura del que recorre la rama ascendente con el dato, de que teniendo por base la seccion de esta última, ha de ser equivalente en peso al del aire contenido en el brazo descendente: la diferencia entre el valor encontrado y la altura de la rama ascendente, se sustituirá por h en la fórmula conocida $v = \sqrt{2gh}$.

Las *chimeneas descendentes* solo tienen aplicacion cuando hay medio de utilizar fácilmente el calor de que se desprendan los gases al enfriarse, colocando el aparato ú objetos que hayan de absorberlo en el canal horizontal de que hemos hecho mencion.

§ 65. *Chimeneas con tiro forzado.*—Se presenta la necesidad del tiro forzado cuando circunstancias determinadas no permiten dar á las chimeneas las dimensiones convenientes para establecer el *tiro natural*.

Para conseguirlo se apela á medios mecánicos, haciendo uso de *ventiladores* ó *máquinas soplantes*, ó bien lanzando un *chorro continuo de vapor* á la parte inferior

de la chimenea ó del cenicero: en uno y otro punto pueden tambien colocarse aquellos.

El uso de ventiladores, si han de ofrecer ventajas económicamente considerados, requiere la condicion especial de que se pueda utilizar una gran parte del calor perdido en las chimeneas ordinarias.

En el tiro forzado obtenido mediante un chorro de vapor, la idea económica se presenta como secundaria; la adopcion de tal proceder obedece entonces á condiciones determinadas, como acontece en las locomotoras, que exigen gran cantidad de aire para activar sus hogares.



LECCION 4.^a

SUMARIO.

Calderas; generalidades.—Superficie de caldeo.—Volumen de agua.—Cámara de vapor.—Ligera descripción de algunas calderas.—Espesor y diámetro máximo de estas.—Partes accesorias comprendiendo los aparatos de alimentación, observación, seguridad, comunicaciones y todo lo necesario para visitar y limpiar las calderas: pruebas á que se someten.—Principales causas que producen las explosiones de estas y medios para evitarlas.

§ 66. **Calderas; generalidades.**—Las calderas ó generadores propiamente tales son recipientes cerrados por todas partes, que absorbiendo el calor, resultado de la combustión en el hogar, se transforma en vapor el agua que contienen: de aquí se desprende que la *materia* de que se construyan haya de conducir bien al primero y estar dotada de la resistencia necesaria para contrarrestar la tensión del segundo; á este último fin contribuye en mas ó menos grado, la forma particular que se les dé.

Abandonadas ya las calderas de *hierro colado* por su tendencia á romperse en las dilataciones desiguales á que estaban espuestas, hoy se emplean casi exclusiva-

mente las de *chapa de hierro* y de *cobre*: las esperiencias de Fairbain han hecho decrecer la importancia de la última; que, de muy limitada aplicacion por su elevado precio, la recomienda sin embargo para aquellas partes que estén espuestas á un fuego intenso.

De la *chapa de laton* se hace uso generalmente para la construccion de los tubos de pequeño diámetro que llevan algunas calderas.

Los ensayos verificados con la *chapa de acero* han dado escelentes resultados: á igualdad de resistencia permite disminuir el peso de las calderas, circunstancia digna de tenerse en cuenta, cuando estas no son para máquinas fijas; el precio, mucho mayor que el de la *chapa de hierro*, impide hoy al menos, que se generalice como fuera de desear.

En toda caldera—no ocupándonos por ahora de las partes accesorias que le acompañan—hay que considerar principalmente, *la superficie de caldeo, el volúmen necesario para el agua y el espacio reservado por el vapor.*

§ 67. **Superficie de caldeo.**—En las calderas, se llama así, la que recibe la accion directa del hogar, ó la de los productos de la combustion. La primera, situada de modo que pueda absorber por radiacion el calor del combustible y por contacto el de los gases, se denomina mas particularmente *superficie de caldeo directa*; y la calentada casi solo por simple contacto de la llama y humo, *superficie de caldeo indirecta*: desde luego se deja comprender que esta última debe ser menos activa que aquella.

La estension que una y otra puedan tener, la posicion respecto á los gases—en concepto de pasar estos por encima, lateralmente ó por debajo de ellas—y por último la inclinacion, influyen sobremanera en la mayor ó menor cantidad de agua vaporizada.

De la cantidad de vapor, tension que deba tener y otras condiciones inherentes al servicio de las máquinas, depende la combinacion de aquellos elementos y es origen por tanto de las variadas formas y dimensiones que ofrecen las calderas.

Antes de pasar á la clasificacion y ligero exámen de las mas importantes, á nuestro objeto, indicaremos el modo de apreciar la *superficie de caldeo* y la relacion en que contribuye á vaporizar el agua, con arreglo á la situacion especial que tenga.

De las distintas posiciones que respecto á un centro dado de calor, puede tener *una superficie de caldeo*, la horizontal colocada encima de aquel es la mas ventajosa á la produccion; así como la menos conveniente, cuando conservando la horizontalidad se la sitúa debajo; y esto, por quedar debilitada la trasmision á consecuencia de las burbujas de vapor que se interponen entre el agua y la cara interior de la chapa.

Las superficies de caldeo verticales, en cuanto á la facilidad de desprenderse las burbujas, vienen á ocupar una posicion intermedia con relacion á las anteriores.

En estas consideraciones hay que ver el fundamento de la distincion que los ingleses establecen entre aquellas superficies: á las horizontales ó con inclinacion sufi-



ciente para que con facilidad pueda renovarse el agua las designan, *superficies de caldeo propiamente dichas*; y á las verticales y á todas aquellas que difieran poco de esta inclinacion, en que el desprendimiento de las burbujas se verifica mas dificilmente *semi-superficies de caldeo*; las demás no las toman en cuenta en sus cálculos.

En estas leccionès consideraremos como *superficies de caldeo*, todas las que se hallen comprendidas en la definicion dada al principio del § 67.

La estension que haya de darse á la superficie de caldeo, base para la determinacion de las dimensiones de los generadores, se apoya en los siguientes datos experimentales.

Segun Morin y Tresca, de las últimas esperiencias de Graham con calderas cilíndricas se desprende, que 1 metro cuadrado de superficie de caldeo directa produce en 1 hora 74^t,5 de vapor. Otros experimentadores hacen subir esta cantidad á 80, 90, 100 y hasta 120 kilóg. (*) en los cálculos, en que este dato juegue, siempre es preferible apoyarlos en las cifras mas reducidas.

Escasas son las esperiencias llevadas á cabo con objeto de averiguar la vaporizacion debida á la *superficie de caldeo indirecta*, dato variable siempre con la forma y disposicion de esta así como con la distancia al hogar ó cámara de combustion.

(*) A la mayor ó menor actividad de la combustion, y á la manera de disponer y colocar la superficie de caldeo directa, adoptada por cada experimentador, hay que atribuir principalmente, la notable diferencia en la vaporizacion acusada por las cifras 74,5—80—90—100 y 120.

De los resultados de las de Graham, obtenidos con tres calderas cilíndricas, dispuestas como indica la figura 6.^a, lám. 3.^a, se ha deducido que siendo en número redondo 75 kilóg. el agua vaporizada en la primera, por hora y metro cuadrado de superficie de caldeo, las vaporizaciones correspondientes á las otras dos por iguales unidades están representadas por las cifras 26 y 12.

Análogos resultados y consecuencias se han desprendido cuando se ha operado con tubos ó calderas por cuyo interior circulaba la llama: unos y otros hacen ver la rapidez con que decrece la vaporizacion de la *superficie de caldeo indirecta*, á medida que su distancia al hogar aumenta.

M. Havrez que ha discutido las ejecutadas con igual objeto por M. Williams, ha establecido estas dos interesantes leyes: primera, *la relacion entre las cantidades de agua vaporizada, correspondientes á longitudes iguales y consecutivas de una misma caldera, es un número constante*: y segunda, *que este número es tanto menor, cuanto mayor sea la cantidad de gases que produce la vaporizacion*.

En la dificultad de apreciar detalladamente en cada caso particular el valor de esta última, variable, como queda dicho, con la distancia, posicion y forma de la superficie de caldeo, como con la cantidad de gases, en la práctica se procede de otro modo: ya sea aquella directa ó indirecta, ya esté próxima ó distante del hogar, la vaporizacion se refiere de ordinario á 1 metro cua-

drado de la total, considerada como dando lugar durante 1 hora, una *produccion media* equivalente á la efectiva en la misma unidad de tiempo.

La esperiencia ha hecho ver que dicha *produccion media* oscila generalmente, segun los distintos sistemas, entre limites muy apartados 8 y 35 kilógramos.

Ahora bien, dos superficies de caldeo, una mayor que otra, á igualdad de circunstancias, traen consigo vaporizaciones que guardan entre sí la misma relacion: dos cantidades de vapor distintas—admitiendo que la tension sea igual—suponen tambien una relacion análoga en los trabajos que desarrollan al obrar de idéntico modo sobre la base del émbolo de una máquina de vapor; y como por otra parte dichas cantidades de vapor formadas en un tiempo dado están en razon con las de combustible quemado, y este con la superficie libre y total de la parrilla, seccion de los conductos y chimenea, dedúcese de aquí, que entre todos estos elementos debe existir una estrecha dependencia, y por tanto que siempre será dable poner uno cualquiera en funcion de los demás.

Supongamos que queremos encontrar el efecto correspondiente á 1 metro cuadrado de superficie del caldeo, en una máquina á expansion y condensacion, trabajando á 3 atm. de presion en la caldera y en condiciones para producir el máximum absoluto de trabajo útil: si por una parte admitimos como dato de vaporizacion 20 kilógramos por metro cuadrado y hora; y por otra, que el cilindro consume cuanto el generador produce, tendremos partiendo de la cifra 34515474^{kms.} (tabla § 40) que

2^{cab.}, 6 próximamente, es el efecto útil (*) que—en las condiciones espresadas—se obtendria por metro cuadrado de superficie de caldeo.

Así como, al clasificar las *máquinas de vapor*, digimos que para completar el conocimiento de ellas se solia espresar su fuerza en caballos, respecto á los *generadores* es costumbre tambien, por la dependencia que entre aquellas y estos existe, manifestar *el poder de vaporizacion* indicando que es de 15, 20 ó mas caballos.

Este vicioso proceder sostenido por la rutina, debe reemplazarse por la espresion de la cantidad de agua capaz de ser vaporizada por metro cuadrado de superficie de caldeo indicando al propio tiempo el consumo de combustible.

§ 68. **Volúmen de agua.**—La cantidad de agua en las calderas, es nuevo dato que ha de tenerse en cuenta al calcular sus dimensiones: debe ser la mayor posible, á fin de que al entrar la de alimentacion, sea menor el descenso de temperatura en la masa total y evitar de este modo que la tension del vapor decrezca notablemente.

Aunque variable con los generadores, la esperiencia aconseja como relacion muy aceptada para los correspondientes á máquinas fijas, una cantidad de 9 á 10 veces

(*) Obsérvese que el trabajo en kilogrametros correspondiente á 20 kilogramos de vapor es igual á $54515,474 \times 20$; y en su consecuencia, que basta dividir este producto por 3600×75 para obtener en caballos el resultado aproximado 2,6 correspondiente á 1 metro cuadrado de superficie de caldeo.

la vaporizada en 1 hora: en los de las locomotoras, locomóviles y máquinas marinas ordinariamente es mucho menor.

Con una alimentacion continua los inconvenientes de los volúmenes pequeños no se hacen sentir tanto como cuando es intermitente.

La parte superior del agua en el interior de la caldera debe elevarse sobre la línea mas alta del exterior, que limita la superficie de caldeo, de 40 á 15 cent., para que el nivel del líquido no la deje descubierta por un ligero descuido al alimentar aquella oportunamente.

§ 69. **Cámara de vapor.**—El espacio reservado para el vapor—otro elemento que no ha de olvidarse al fijar la magnitud de los generadores—debe ser tambien el mayor posible.

Una capacidad pequeña, relativamente al volumen del cilindro, ocasiona á cada curso del émbolo un descenso de presión en la caldera, produciéndose como es natural, una vaporizacion rápida y tumultuosa: las paredes de la caldera están espuestas á fuertes sacudidas y el vapor puede muy facilmente arrastrar gran cantidad de agua que una vez en el cilindro dé lugar á violentos choques que causen su rotura ó la del vástago, y en todo caso una pérdida real de trabajo.

La práctica inglesa, para evitar estos inconvenientes, es dejar al vapor un espacio igual al del agua, de manera que el volumen total de las calderas llegue á ser de 18 á 20 el del agua trasformada en vapor durante 1 hora.

Esta regla seguida por Watt para las calderas desti-

nadas á sus *máquinas de baja presión*, proporciona capacidades mayores que las que se necesitan cuando aquellas son de *alta presión*: como límite superior puede calcularse en estas el *volúmen de la cámara de vapor* en 5 á 6 veces el del agua vaporizada en 1 hora. En las correspondientes á locomotoras y locomóviles, esta relacion no es tan elevada.

Como es fácil ver, *el volúmen de agua y cámara de vapor* vienen á aumentar el número de elementos que, relacionados entre sí, entran á tomar parte en la resolución del problema relativo al cálculo de una máquina de vapor considerada bajo el punto de vista mas estenso.

§ 70. **Ligera descripción de algunas calderas.**—La numerosa variedad de calderas generalizadas en la industria pueden agruparse bajo tres sistemas distintos. El primero comprende á todas aquellas que, independientes del hogar, son calentadas por el exterior sin envolver á la llama ni á la cámara de combustion; se denominan *calderas de hogar exterior*: el segundo está caracterizado por el hogar que se encuentra dentro de las calderas, de manera que tanto él como la llama son envueltas por las paredes de estas; reciben el nombre de *calderas de hogar interior*: y en el tercer sistema, que llamaremos *misto*, entran todas las que siendo de hogar exterior, están atravesadas por tubos ó conductos por donde circula la llama.

Unas y otras en principio general, se componen de uno ó mas cuerpos cilíndricos terminados ordinariamente por casquetes esféricos. Si al determinar la forma de

las calderas no se hubiera tenido presente otra condicion mas, que la resistencia, ninguna tan preferible como la esférica; pero en atencion á la menor superficie de caldeo que á igualdad de volúmen ofrece y á su mas difícil construccion, se ha adoptado la cilíndrica que reúne todas las circunstancias que son de desear.

§ 71. *Calderas de hogar exterior.*—*Caldera de Watt.*—Las fig. 7.^a y 8.^a, lám. 3.^a, demuestran la forma y disposicion de la caldera que lleva el nombre de este ilustre ingeniero, conocida tambien con el de *caldera en forma de nicho*. Es un cilindro terminado por bases planas que descansa sobre el horno por las aristas redondeadas *a, a*; su directriz la podemos considerar como formada por cuatro arcos de círculo: la llama despues de lamer la parte inferior, recorre sucesivamente los conductos *C* y *C'* antes de penetrar en la chimenea.

Esta caldera, á consecuencia de sus grandes dimensiones y objeto especial de ella, presenta una buena superficie de caldeo y espacios convenientes para el agua y cámara de vapor: la forma cóncava del fondo permite una absorcion mas completa del calor.

Construida para alimentar máquinas á baja presion, no puede resistir de dentro á fuera é inversamente, tensiones algo elevadas sin experimentar sensible deformacion; y para lograrlo, requiere ser reforzada con tirantes y armaduras que enlacen todas sus partes entre sí: este medio ofrece el inconveniente de dificultar la construccion.

Si espresamos por *L*, la longitud de una caldera de

Watt; H su altura en la parte media, y por B el ancho que convenga para que BH y BHL representen su seccion transversal y volúmen, la superficie de caldeo que designaremos por S, podrá con suficiente aproximacion quedar formulada en

$$S = BL + HL = L(B + H),$$

valor general que se ajusta, así al modo de proceder segun la práctica inglesa, como á la manera de considerar nosotros aquel importante elemento de los generadores.

Por el interés que ofrece en estos el conocimiento de las relaciones entre sus volúmenes, superficies de caldeo y espacios reservados para el agua y vapor, vamos á determinar en el que nos ocupa, la que existe entre el volúmen BHL que llamaremos V y la superficie S; así pues,

$$\frac{V}{S} = \frac{BHL}{(B + H)L} = \frac{BH}{B + H} \text{ y } \frac{V}{S} = \frac{1}{2} B$$

en el caso de $B=H$, para el que $\frac{V}{S}$ adquiere un valor

máximum, siempre que sea constante la suma $B+H$.

El agua en la caldera ocupa próximamente algo mas de la mitad de la altura total. Segun Morin y Tresca las siguientes cifras, resultado de las esperiencias de Wicksteed, pueden contemplarse como características de las calderas de Watt.

Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de parrilla y hora.....	}	... 50 á 60 kilóg.
Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	}	... 3 á 4 id.
Relacion entre la superficie de caldeo y la de la parrilla.....	}	... 15 á 20
Cantidad de agua vaporizada por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	}	... 25 á 30 id.

§ 72. *Calderas cilíndricas de un solo cuerpo.*—Cuando la fuerza elástica del vapor es superior á dos atmósferas, la forma cilíndrica de seccion circular, es casi la única que afectan los generadores.

Las fig. 9.^a, 10 y 11 (lám. 3.^a) indican una caldera compuesta de un solo cuerpo cilíndrico: las flechas *a a* señalan la marcha de la llama, cuyo trayecto pudiera ser directo, es decir sin retorno alguno, dando secciones convenientes al único conducto que habria en este caso.

La superficie de caldeo se obtiene multiplicando el semi-perímetro de la seccion recta, por la longitud total; en la práctica se prescinde ordinariamente de los casquetes que limitan el cuerpo cilíndrico, como compensacion en parte de la superficie que quede privada de la accion de la llama.

La relacion entre el volúmen total y la superficie de caldeo puede espresarse aproximadamente por la mitad

del diámetro (*); la analogía de este valor con el obtenido en los generadores de Watt cuando se hizo $B=H$, no debe sorprendernos, atendiendo á que la disposicion de unos y otros es muy semejante; de tal manera, que las cifras que se han considerado como características de aquellos convienen igualmente con ligeras diferencias á las calderas cilíndricas que nos ocupan.

Estas ofrecen sobre las de Watt las ventajas de ser más resistentes y de mas fácil construcción y entretenimiento; pero como ellas, requieren dimensiones exageradas y por tanto poco convenientes, cuando el vapor tiene que formarse en cantidad algo considerable; así es que en la práctica quedan casi limitadas por las que producen á lo sumo 200 kilóg. por hora.

En la parte superior se ve una capacidad cilíndrica cuyo diámetro y altura son generalmente dos tercios del diámetro de la caldera: esta pequeña cámara es aumento al espacio reservado al vapor, y de ella se toma el que directamente va al cilindro, con lo que se logra que sea menor la cantidad de agua arrastrada, por la mayor dis-

(*) Si representamos por V y S el volúmen y superficie de caldeo; y por D y L el diámetro y longitud total de la caldera—comprendidos los casquetes, que supondremos semi-esféricos—el volúmen será:

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 \left(L - \frac{1}{5} D \right), \text{ ó bien, despreciando } \frac{1}{5} D, \text{ con obje-}$$

to de simplificar esta expresion, $V = \frac{1}{4} \pi D^2 L$.

Si en el valor de S hacemos entrar la parte correspondiente á los casquetes, á fin de que sea lo mas sencillo posible la relacion entre ella y V ; tendremos, $S = \frac{1}{2} \pi D L$ y por tanto $\frac{V}{S} = \frac{1}{2} D$.

:

tancia á la zona de ebullicion; con el mismo fin se coloca del hogar lo más distante que sea posible. Todas las calderas sin escepcion debieran llevar aquel ú otro suplemento análogo.

§ 73. *Caldera cilíndrica con tubos hervidores.*—Las figuras 12 y 13 demuestran la disposicion mas generalizada de esta caldera. Consta del cuerpo principal A y de los C y C' de menor diámetro que reciben el nombre de *hervidores*; cada uno de estos comunica con el primero por dos piernas tubulares.

El objeto de aquellos, generalmente en número de dos, ha sido obtener mayor superficie de caldeo que en los generadores cilíndricos de un solo cuerpo, sin aumentar el diámetro y longitud de este. Como se observa en la figura cuya disposicion pudiera ser otra, en cuanto al curso de la llama, los hervidores reciben directamente la accion del hogar y son envueltos por aquella al recorrer el conducto en que están colocados; el diámetro de ellos suele ser ordinariamente mitad del de la caldera, en cuyo supuesto

$$\frac{V}{S} = \frac{1}{4} D \text{ (*)},$$

siendo D el diámetro del cuerpo principal.

(*) En efecto, si representamos por
 $2 R = D$... el diámetro del cuerpo principal
 $2 r = R$... id. de los hervidores, y
 l la longitud de los tres cuerpos, sin comprender los casquetes que los limitan de los cuales prescindiremos tambien al encontrar la superficie de caldeo y volúmen total, tendremos:

$$S = 5 \pi R l \text{ y } V = \frac{5}{2} \pi R^3 l \text{ de donde } \frac{V}{S} = \frac{1}{4} D.$$

De esta relacion deducimos, que á igualdad de volúmen, existe un aumento de superficie de caldeo en el generador que nos ocupa comparado con los anteriores; y esto, aun prescindiendo para simplificar la relacion, de la superficie de uno de los casquetes esféricos que limitan el cuerpo principal, y de dos de los hervidores, así como de la correspondiente á la parte ó porcion de las piernas tubulares, envuelta por la llama.

En la práctica se calcula la *superficie de caldeo*, encontrando la mitad de la exterior correspondiente á la parte cilíndrica del cuerpo principal, y añadiendo á ésta, únicamente las tres cuartas partes de la lateral de los hervidores para compensar sin duda la falta de accion de la llama sobre la superficie que por estar cubierta no la recibe directamente.

Las ventajas inherentes al generador que estamos describiendo son: no recibir el cuerpo principal la accion directa de la llama con lo que se evita su prematuro deterioro; proporcionar para una vaporizacion determinada, sin dimensiones exageradas, una buena superficie de caldeo, y ser por último de fácil construccion y entretenimiento. Sus principales inconvenientes pueden quedar condensados en estos dos: primero, que la cámara de vapor es algo reducida, lo que requiere aumentar las dimensiones del cuerpo principal ó añadir un depósito suplementario para evitar las contras que son consiguientes á los pequeños volúmenes; segundo, el de destruirse muy pronto los hervidores por la accion demasiado viva de la llama, accion favorecida por los depósitos terrosos y

por el vapor que tiende á ocupar la region superior de ellos.

Las cifras del siguiente estado deben contemplarse como características de las calderas con hervidores, cuando han sido bien establecidas y relacionadas convenientemente todas sus partes.

Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de parrilla y hora.....	} ... 60 á 70 kilóg.
Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	} ... 2 á 3 id.
Relacion entre la superficie de caldeo y la de la parrilla.....	} ... 25 á 30 id.
Cantidad de agua vaporizada por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	} ... 20 id.

§ 74. *Calderas cilindricas con tubos calentadores.*—En esta clase de generadores el cuerpo principal A, (fig. 14 y 15, lám. 3.^a) recibe la accion directa del hogar, y la de los gases cuando tienen la mayor temperatura: los cuerpos B y B' que dan nombre á este generador son calentados sucesivamente al recorrer la llama, algo enfriada ya, los conductos inferiores C y C'.

Esta disposicion, sobremanera racional, constituye un excelente sistema llamado á generalizarse de dia en dia. Tres circunstancias esencialmente le separan del generador que antecede: en el de hervidores, el agua de alimentacion entrando en la region donde la temperatura es mas elevada produce en ella un sensible descenso y la tension del vapor disminuye á su vez; en el de calenta-

dores por el contrario, el agua entra en el calentador B' por el extremo que en último término recibe la acción de los gases, con lo que se consigue que, aumentando aquella lenta y gradualmente su temperatura, llegue á penetrar en la caldera sin que se manifieste el efecto anterior: no es esto solo, sino que siguiendo los gases una marcha contraria á la del agua, compréndese desde luego que aquellos se desprenderán del calor que posean, mas cumplidamente que les es permitido hacerlo en el sistema de hervidores.

De esta manera de alimentar el generador que nos ocupa unida á la disposición de él, se desprende otra ventaja, de suma importancia: las materias terrosas depositándose en la parte mas fria no llegan á adquirir gran consistencia, y de aquí que puedan fácilmente desprenderse, lo que no acontece con los hervidores cuya limpieza suele ser operación algo penosa; por otra parte, libre el cuerpo principal de sustancias que conduzcan mal el calor no hay riesgo de que se destruya tan pronto como pudiera suponerse, al ser él quien inmediatamente recibe la acción directa del hogar y de la llama.

El número de tubos calentadores y manera de disponerlos varían mucho; ya se colocan dos como se indica en la fig. 14 y esto es lo mas conveniente, para calderas que hayan de alimentar máquinas de alguna importancia; ó bien se disponen dos, tres ó mas, lateral y paralelamente entre sí y al cuerpo principal, como puede observarse en la fig. 16.

Para que el generador representado en las fig. 14 y

45 participase de las ventajas inherentes al sistema que nos ocupa, convendría suprimir la parte tubular que une el cuerpo B' con el A; pues de este modo, el agua, antes de pasar á este último, tendría que recorrer los dos calentadores B', B.

La superficie de caldeo se calcula de un modo análogo á como queda dicho en el sistema de hervidores, tomando en cuenta toda la parte bañada por los gases.

Suponiendo que $\frac{1}{2}$ sea la relación entre el diámetro de los calentadores y cuerpo principal, fácil será ver la que exista entre el volúmen total y superficie de caldeo: como en el sistema de hervidores, el que nos ocupa presenta muy reducida la cámara de vapor, cuyo inconveniente se atenúa algun tanto, proveyéndole de un depósito suplementario.

Las siguientes cifras deben servir de norma para el establecimiento de las calderas cilíndricas con tubos calentadores.

Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de parrilla y hora.....	} ... 60 kilóg.
Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	} ... 4 á 2 id.
Relación entre la superficie de caldeo y la de la parrilla.....	} ... 25 á 40
Cantidad de agua vaporizada por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.,	} ... 15 id.

§ 75. *Calderas de hogar interior.*—Las fig. 17 (lám. 3.^a) y 1.^a y 2.^a (lám. 4.^a) representan calderas de este sistema

con uno y dos tubos interiores, dentro de los cuales y en su parte anterior se encuentran los hogares.

Los gases, despues de recorrer el interior de aquellos que hacen las veces de conductos, pasan por otros laterales para calentar—antes de introducirse en la chimenea—algo mas, de la mitad de la superficie exterior de la caldera.

Este sistema de generadores es en Inglaterra, lo que en Francia ha sido el de hervidores; la solucion del problema cuyo objeto es proporcionar sin aumento notable de volúmen, una superficie de caldeo conveniente para obtener una vaporizacion determinada.

Si fijándonos en el generador, fig. 1.^a y 2.^a (lám. 4.^a) representamos por

$2 R = D$ el diámetro del cuerpo principal;

$2 r = R$ id. de los tubos interiores;

l la longitud de aquel y estos;

la relacion entre el volúmen V y superficie S podrá quedar espresada

$$\frac{V}{S} = \frac{1}{12} D (*),$$

cuyo valor nos hace ver, que para uno determinado del primero, la segunda se encuentra mucho mas favorecida que en los generadores estudiados anteriormente.

Esta circunstancia, unida á su instalacion poco cos-

(*) Tomando como superficie de caldeo toda la interior de los tubos, y la mitad correspondiente á la lateral del cuerpo principal tendremos

$$S = 4\pi r l + \pi R l = 5\pi R l; \text{ y como } V = \pi R^2 l - 2\pi r^2 l = \frac{1}{2} \pi R^2 l$$

$$\text{se deduce que } \frac{V}{S} = \frac{1/2 \pi R^2 l}{5 \pi R l} = \frac{1}{10} D.$$

tosa, á la menor absorcion del calor por las paredes del horno y fácil entretenimiento cuando tiene dimensiones adecuadas, son razones que justifican la estimacion que gozan las calderas de hogar interior.

A estas ventajas hay que oponer un inconveniente; que la cámara de vapor es, de ordinario, algo reducida y que para proporcionarle un volúmen en buenas condiciones, se hace preciso que el diámetro exterior alcance una magnitud que no siempre es prudente darle.

Las siguientes cifras, segun Morin y Tresca, caracterizan el generador que acaba de ocuparnos.

Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de parrilla y hora.....	} ... 45 kilóg.
Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	} ... 4 id.
Relacion entre la superficie de caldeo y la de la parrilla.....	} ... 40 á 45
Cantidad de agua vaporizada por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	} ... 8 id.

La cifra algo baja correspondiente á la produccion de vapor por metro cuadrado de superficie de caldeo, la justifica el escaso consumo de combustible por igual unidad: esto, lejos de ser un inconveniente, es una ventaja en el presente caso, pues no otra cosa indica que la absorcion del calor por las paredes de la caldera se verifica en mejores condiciones que en las anteriores á causa de la mayor estension de la superficie de caldeo.

Algunas veces suele aumentarse esta última colocando otro tubo dentro, fig. 3.^a (lám. 4.^a)

Después de lo que se acaba de indicar fácil será comprender la escasa importancia de este suplemento: solo en el caso de que se quiera dar al volúmen de agua mayores proporciones y que se desee que la alimentación tenga lugar en las condiciones mas ventajosas podrá adoptarse la disposición que demuestra la fig. 4.^a

§ 76. *Calderas tubulares.*—El tipo de estos generadores está indicado en las fig. 5.^a y 6.^a (lám. 4.^a) que representan la caldera correspondiente á una locomotora.

En ella hay que distinguir principalmente, el *hogar* cuya denominación particular aquí, es *caja de fuego, la parte tubular y la caja de humos.*

La primera que se ve en A, tiene la forma de un paralelepípedo rectangular cuyas caras—generalmente de cobre de primera calidad para poder resistir la acción intensa del fuego—se hallan rodeadas por el agua, excepción hecha de la inferior que pertenece á la parrilla, y de la anterior por donde se introduce el combustible: no pudiendo las caras planas resistir sin deformarse, la enorme presión interior, se refuerzan por medio de tirantes y entretoesas, como es fácil observar en las figuras citadas.

La *parte tubular* B, puede considerarse como un cilindro, cuyas bases que se llaman *placas tubulares*, están cubiertas de agujeros para servir de apoyo á los extremos de los tubos que le atraviesan en sentido longitudinal; el agua rodea completamente el exterior de estos, que

son los verdaderos conductos que recorre la llama antes de penetrar en la *caja de humos*: los tubos suelen ser de *laton*; resisten mejor que los de *cobre*.

Cuanto mayor sea el número de estos mayor será también la superficie de caldeo; sin embargo, para evitar las obstrucciones por las cenizas y pequeños pedazos de combustible arrastrados por la llama, el diámetro mínimo que se les da es 4 centím.^s, de ordinario 5 y en las máquinas fijas de 7,5 hasta 10 centím.^s

En las locomotoras se colocan generalmente al tresbolillo, disposición que aunque no la mas favorable para la ascension del vapor, proporciona mayor número de ellos; en los generadores tubulares de las máquinas fijas y marinas, las bases se disponen formando cuadrados y colocados de modo que cada uno tenga horizontales dos de sus lados, cuando aquellos se encuentren en su posición natural: la distancia entre los centros de dos tubos contiguos, ordinariamente es igual á tres veces su rádio; su longitud dependiente de la mayor ó menor energía del tiro oscila entre límites muy distantes.

La *caja de humos C*, es una capacidad de forma prismática donde vienen á parar los gases, producto de la combustion, antes de ascender por la chimenea que va colocada sobre ella: los tubos se reconocen, limpian y reparan entrando por la parte posterior de la caja de humos.

La necesidad de producir en los generadores de las locomotoras, en el menor tiempo posible, una gran cantidad de vapor, ha obligado á abandonar hasta cierto

punto, las reglas establecidas para la construcción de las calderas en general, exagerando en ellos la superficie de caldeo, cuyo valor y relación con el volumen total podríamos encontrar fácilmente.

Las siguientes cifras caracterizan las calderas tubulares pertenecientes á las locomotoras.

Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de parrilla y hora.....	} ... 280 kilóg.
Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	} ... 4 id.
Relación entre la superficie de caldeo y la de la parrilla.....	} ... 75
Cantidad de agua vaporizada por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	} ... 35 id.
Cantidad de agua vaporizada por kilogramo de combustible.....	} ... 8,5 kilóg.

Ahora bien, como á pesar de las condiciones poco ventajosas en que ha debido colocarse la construcción de la caldera tubular que hemos dado á conocer, la última cifra, relativa á la cantidad de agua vaporizada por kilogramo de combustible, es superior á las obtenidas de ordinario en los generadores mejor establecidos correspondientes á máquinas fijas, de aquí el que tanta aceptación vaya teniendo el principio tubular y funden algunos en él la construcción de casi todos los generadores.

Las calderas tubulares para máquinas fijas difieren de las de hogar interior, que dimos ya á conocer en la caja de humos y en el aparato ó cuerpo tubular: los tubos

de este, arrancando desde el hogar, se dirigen, ya al interior ó bien hácia el exterior; de manera que la llama sale por el extremo opuesto del hogar ó por el lado mismo donde está situado: circunstancias especiales, de localidad generalmente, determinan la conveniencia ó necesidad de este retorno de la llama.

En las fig. 7.^a y 8.^a (lám. 4.^a) se ve uno de estos generadores.

Las fig. 9.^a y 10.^a representan una caldera marina del mismo sistema con la sola diferencia de que la forma, mayor número de hogares y de que los gases retornan despues de pasar por la caja de humos A: á su salida de los tubos encuentran otra segunda caja B.

Las ventajas de las calderas tubulares para máquinas fijas son: fácil instalacion, innecesarias las obras de fábrica para empotrarlas—con lo que se evita la absorcion del calor por ellas—y tener mejor distribuida su excelente superficie de caldeo, circunstancia que economiza combustible y tiempo.

En oposicion á esto hay que señalar—aparte de su construccion mas complicada y cámara de vapor algo pequeña—un grave inconveniente, su difícil y costoso entretenimiento á no emplear aguas muy puras, y por tanto, muy ocasionadas á sensibles detenciones ínterin experimentan las reparaciones que exigen con alguna mayor frecuencia comparadas con las demás: la dificultad en este sistema no es hacerle funcionar en buenas condiciones; esto se consigue, pero lo que no es dable, es alcanzarlo por mucho tiempo.

Las siguientes cifras, segun Morin y Tresca, convienen á las calderas tubulares con destino á máquinas fijas:

Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de parrilla y hora.....	}	... 70 á 80 kilóg.
Consumo de combustible por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	}	... 4,5 á 2
Relacion entre la superficie de caldeo y la de la parrilla.....	}	... 35 á 50
Cantidad de agua vaporizada por metro cuadrado de superficie de caldeo y hora.....	}	... 12 á 20

Como una consecuencia natural del inconveniente que hemos espuesto, y que en parte hace ilusorias las numerosas ventajas de los generadores que nos vienen ocupando, se han ideado otros, que obedeciendo al mismo principio, se hallan dispuestos de modo que fácilmente se puede retirar y limpiar el cuerpo tubular: las calderas así modificadas se denominan *calderas tubulares de hogar amovible*.

De todas las disposiciones, una de las mas aceptables es la que demuestran las fig. 11 y 12 (lám. 4.^a) debida á Farcot propietario-director de uno de los mejores establecimientos de construccion de máquinas de París. Consta principalmente de dos cuerpos A y B que comunican entre sí por los tubos *a*, *b*: en el interior de A se encuentra el aparato tubular. La llama, despues de atravesar los tubos, entra en la caja de humos C; de aquí pasa á la parte superior envolviendo al propio tiempo al cuerpo A; de manera que despues de recorrer simultá-

neamente los espacios D, E, F, entra en la chimenea por el E que se halla próximo al hogar.

El aparato tubular está fijo por medio de los pernos con tuerca *c*, á la parte anterior y posterior del cuerpo A; dos redondelas de cobre contribuyen á establecer un cierre perfecto é impedir toda fuga de vapor. Para facilitar la salida de aquel—al que va unida invariablemente la parte que constituye el hogar—el cuerpo A lleva en su interior unos rebordes sobre los que descansan y corren las ruedecitas *e*, *d*. Inútil es indicar que para llevar á cabo la operacion de retirar los tubos es preciso ante todo sacar los pernos *c*.

Los dos cuerpos A y B como puede observarse en la fig. 41 se hallan envueltos por una doble cubierta de chapa: el espacio que dejan entre sí, está relleno de materias que conducen mal el calor.

Calderas tubulares verticales.—La fig. 43 (lám. 4.ª) demuestra la aplicacion del principio tubular á una caldera vertical: ofrece sobre las horizontales la ventaja de ocupar poco sitio; en cambio de esto sus inconvenientes son numerosos: primero, mayor dificultad para limpiar y reparar; segundo, en muchas, el agua suele no rodear el extremo superior de los tubos, lo que motiva la prontitud con que quedan fuera de servicio; tercero, la de ser vertical casi toda la superficie de caldeo; y cuarto, que en la única horizontal que tienen, vienen á depositarse todas las sustancias terrosas cuyas incrustaciones en tal paraje, son causa de desgracias ó al menos de exigir frecuentes y costosas reparaciones.

Sin embargo de todo esto, hay circunstancias en que se da preferencia á las calderas verticales: estas pueden no llevar aparato tubular y sí simplemente un tubo único á manera de las de hogar interior, de mucho mas diámetro relativamente y concéntrico á las paredes exteriores.

§ 77. *Calderas correspondientes á las locomóviles y antiguas máquinas marinas.*—No terminaremos el sistema de generadores de hogar interior sin indicar al menos, que en él deben ser colocados tambien los de las locomóviles y los pertenecientes á las antiguas calderas marinas que todavía se encuentran en algunos barcos: los primeros, son tubulares y muy semejantes á los de las locomotoras; los segundos, están representados en las fig. 4.^a y 2.^a (lám. 5.^a)

Como es fácil observar la llama despues de circular por los conductos *cc*—cuya forma especial á manera de galerías da nombre á estas calderas—se dirige á la chimenea A. En las figuras solo se indican tres hogares de los seis que debe haber.

En este generador hay que ver una de las soluciones al problema de obtener la mayor superficie de caldeo para un volúmen determinado: pero la multitud de caras planas y ángulos que tiene, y la dificultad para poder sacar los residuos que deja el agua, han sido siempre sus defectos capitales y á los que debe atribuirse casi su completa desaparicion.

§ 78. *Calderas con tubos interiores y hogar exterior.*—Watt, obedeciendo á la idea de aumentar la superficie

de caldeo, modificó su caldera atravesándola en dirección de la longitud, con un tubo que los gases recorrieran antes de pasar á la chimenea. Esto mismo se ha hecho extensivo á las calderas cilíndricas como demuestra la fig. 3.^a (lám. 5.^a), en que hay dos tubos en vez de uno solo: la llama baña primeramente la parte inferior, vuelve hácia el hogar por el interior de los tubos y retorna hácia atrás en busca de la chimenea por los conductos laterales.

Este sistema de calderas no ofrece con relacion á las anteriores ninguna ventaja positiva: la mayor superficie de caldeo que presentan los tubos interiores puede obtenerse con la misma cantidad de chapa, construyendo hervidores ó calentadores que permiten, á un aumento en el depósito de agua, limpiarse y repararse mas fácilmente.

§ 79. *Revestimiento de las calderas.*—Para evitar la pérdida de calor producida por el contacto de las calderas con el aire exterior, se cubren estas totalmente con materias poco conductoras de aquel: las empotradas en hornos de ladrillo ó mampostería, llevan una capa de carbon menudo del que se desprende de las parrillas á medio arder, ó de arena, aserrin, etc.; las de las locomotoras y locomóviles y todas las que tengan una instalacion análoga, una ó dos envueltas formadas de duelas de madera.

§ 80. *Espesor y diámetro máximo de las calderas.*—La determinacion del espesor de las calderas cilíndricas, sometidas á una presión interior, ha sido objeto de una

de las aplicaciones que se hicieron en la seccion de este curso relativa á la resistencia de materiales.

Los reglamentos franceses, que en esta parte son los nuestros, previenen que los espesores de aquellas se calculen por la fórmula

$$e = 1,8 (n-1)D + 3 \dots \dots \dots (1) \quad \text{siendo}$$

e espesor de la caldera en milímetros;

D diámetro id. en metros;

n presion ea atmósferas del vapor, en el interior.

El aumento de 3 milím.^s con que resultan los espesores prácticos, responde, tal es su objeto, á todos aquellos accidentes que no han podido tomarse en cuenta al encontrar la espresion general del valor teórico.

Cuando las calderas tienen tubos de 10 centím.^s de diámetro en adelante espuestos á presiones exteriores, como acontece en las de hogar interior, el espesor se calcula por la fórmula ((1)) debiendo aumentarse en una mitad ó en otro tanto, segun la magnitud de ellos.

Si las paredes de las calderas, como acontece en las tubulares, no están bañadas por la llama, los espesores que se les dé pueden ser menores que los que resultan por la fórmula ((1)).

A consecuencia de la mayor dificultad con que se trasmite el calor de los gases al través de las paredes, á medida que estas son mas gruesas, los reglamentos franceses consignan que en ningun caso, siempre que sean de chapa de hierro ó cobre, deben esceder aquellos de 45 milímetros.

Si se introduce este valor en la ecuacion ((1)) segun se despeje D ó n , tendremos el diámetro máximo que es permitido dar conocida la tension del vapor, ó recíprocamente partiendo de aquel, el mayor valor que puede tomar la última.

§ 81. *Partes accesorias de las calderas.*—Para dar á conocer los principales accesorios de las calderas y su disposicion particular, iremos refiriendo cada uno, á figuras especiales sin representarlos en conjunto sobre un mismo generador, lo que pudiera dar lugar á confusion. Oportunamente advertiremos cuáles convienen á calderas de máquinas fijas, ó no, de alta ó baja presion.

Para facilitar su estudio los clasificaremos en *aparatos de alimentacion, observacion y seguridad*, formando una seccion separada todo aquello que por su objeto especial no deba ser comprendido en estas tres agrupaciones.

§ 82. *Aparatos de alimentacion.*—Tienen por objeto proveer de agua á las calderas en cantidad suficiente, de manera que el nivel se mantenga dentro de ellas á una altura determinada.

Cuando la tension del vapor alcanza tan solo algo mas de una atmósfera, basta colocar un depósito de agua, á una altura no muy grande para que aquella se introduzca en la caldera. Si por el contrario, el generador ha de alimentar máquinas de alta presion, como aquel proceder exigiria elevaciones considerables, se recurre en este caso á medios mecánicos que permitan lanzar el

líquido con fuerza suficiente á vencer la que oponga el vapor en el interior de la caldera.

Aunque la alimentacion continúa seria la mas conveniente, las dificultades inherentes á ella son causa de que la periódica prevalezca, y sea casi la única adoptada en la práctica. A veces, con el fin de alcanzar la mayor regularidad posible se hace entrar, pero continuamente, alguna menos agua de la que en realidad se necesita, salvo á aumentar la cantidad de tiempo en tiempo.

Los aparatos de alimentacion pueden tener ó no, movimiento propio, es decir, ser de efecto espontáneo, ó bien requerir la vigilancia inmediata del hombre para hacerlos funcionar oportunamente.

En las calderas de baja presion, uno de los mecanismos mas sencillos que se emplean está representado en la fig. 4.^a (lám. 5.^a): consiste en un tubo A de altura conveniente, que penetra hasta cerca del fondo del generador; en el extremo superior lleva una parte B de mayor diámetro, que recibe el agua por el tubo C, del depósito donde se condensa el vapor que ha trabajado. La válvula E sirve para interrumpir ó no la entrada del líquido en la caldera; el movimiento es producido por el peso F que actúa al extremo G de la palanca, cuyo punto de apoyo se encuentra en H; en el brazo opuesto se vé un contrapeso I, y el eje de union de la varilla correspondiente á la válvula.

La simple inspeccion de la figura basta para comprender el juego de este mecanismo: cuando disminuye el agua de la caldera, baja el peso F, se eleva la válvula y el líquido penetra en aquella; á medida que vá entrando

agua sube el peso F, la válvula desciende, y la comunicacion llega un momento en que queda interrumpida.

Cuando es algo considerable la fuerza elástica del vapor, hemos dicho que este medio de alimentacion era inaceptable, y que en su lugar existian otros mas potentes para lograrlo.

De todos ellos, el mas generalizado se reduce á una bomba aspirante é impelente, casi siempre á simple efecto, cuyas partes reunen solidez y simplicidad.

La fig. 5.^a manifiesta detalladamente una á simple efecto. Siéndonos conocida en principio, nos limitaremos á describir ligeramente los elementos que entran en ella: A y B R representan el *piston* que es macizo y el *cuerpo de bomba*; C y D los tubos de *aspiracion* y *proyeccion* ó *descarga*, aquel comunica con el depósito E de agua y el segundo con la caldera: F, G, H *válvulas*; I, K dos llaves cónicas para interrumpir, si no funciona la bomba ó comunicar en caso contrario, el depósito y la caldera con los tubos correspondientes.

La *válvula* H que lleva el tubo de *proyeccion* cerca de la caldera, tiene por objeto impedir la salida del vapor cuando por un incidente se rompe aquel, de cuya circunstancia toma el nombre de *válvula de seguridad*.

El tubo L y llave M sirven para comunicar la caldera con el de *aspiracion*; y cuando por un entorpecimiento ya en los tubos C, D ó ya en las *válvulas* F, G, H, la bomba no rige bien, un chorro de vapor basta á veces para que desaparezca el obstáculo y aquella marche convenientemente.

Los pequeños depósitos N, N facilitan el juego de la bomba; la llave O contribuye al mismo fin dando salida al aire cuando principia á funcionar.

La pieza Q llamada *caja de estopas*, y de la que nos ocuparemos mas adelante, impide, á pesar del movimiento del émbolo, la salida del líquido por el extremo donde está colocada.

Quitada la cubierta R' se puede reconocer el estado de las válvulas, y sacarlas si es necesario, despues de retirar el pistón.

Para poder observar en cualquier momento si la bomba funciona con regularidad, el tubo D lleva la llave S llamada de *ensayo*; abierta, ha de salir por ella un chorro continuo ó intermitente segun sea á simple ó doble efecto, debiendo además tener el agua la temperatura del depósito E; si otra cosa aconteciere, se apelará á lanzar un chorro de vapor por el tubo L, con lo que si no se logra el objeto hay que proceder inmediatamente á desmontarla.

No estará de más recordar que, al determinar las dimensiones de las bombas ó calcular la cantidad de agua que en un tiempo dado proporciona una ya establecida, el efecto útil teórico debe ser afectado próximamente del coeficiente 0,6.

§ 83. *Injector Giffard*.—Sin entrar en los detalles de la teoría de este ingenioso aparato, haremos su descripción indicando tan solo el principio que le sirve de fundamento.

Si por el orificio *a*, fig. 6.^a, de pequeño diámetro sale

animada de gran velocidad una corriente de vapor, este arrastrará el aire de la cámara *b* donde desemboca, y produciendo el vacío en ella y en el tubo *c*, el agua del depósito *d* ascenderá, y si las dimensiones de aquel son las convenientes, el líquido debe concluir por llenar el espacio *b*; aquí ya, condensará al vapor, que animado de una gran fuerza viva la trasmite al agua saliendo esta con notable velocidad por el orificio opuesto *e*.

El aparato, fig. 7.^a (lám. 5.^a), consta esencialmente del cuerpo principal AA y de los tubos B, C, D, E que desembocan en él: B comunica con la cámara de vapor; C con el depósito del agua de alimentación; D con el exterior, y E penetra en la caldera hasta cerca de su fondo.

En el *cuerpo del inyector* hay que considerar el tubo T, por cuyos orificios *a a* entra el vapor que conduce el B: dicho tubo T termina en una parte cónica, donde viene á alojarse el extremo también cónico de la varilla F que tiene el mismo eje que aquel; es evidente que adelantando más ó menos con la manivela G la varilla F, se disminuirá ó aumentará el orificio de salida del vapor, orificio cuya forma es la de una corona circular; frente á este último se encuentra un espacio que afecta la forma conóide, algo abocinada en sus extremos: con el auxilio de la manivela H se consigue aproximar ó retirar de él lo que convenga, el orificio *b*.

A continuación del conóide y con el mismo eje, hay un tubo I cuyo orificio de entrada aparece algo ensanchado: dicho tubo I comunica con el E que se dirige á la

parte inferior de la caldera: en este último existe una válvula K.

Después de esta ligera explicación, el juego del aparato no puede ofrecer dificultad alguna.

Abierta con la manivela L la llave M, el vapor se precipita en el tubo T, saliendo con gran velocidad por el orificio *b*; en este momento existe una verdadera aspiración del aire de la cámara *c* y tubo C, por cuya razón se encuentra como obligado á seguir el movimiento de aquel, para muy luego ver ascender el agua del depósito que se dirige al espacio cóncavo; una vez aquí, condensa al vapor, se apodera de la mayor parte de su fuerza viva, y con una velocidad mas ó menos grande la mezcla recorre los tubos I, E, y penetra en la caldera después de haber levantado la válvula K.

Por el tubo D se da salida al exterior, al agua que se deposita en la cámara *d*, interin no se regulariza la marcha del aparato: N, N son dos orificios cubiertos con cristales para verlo funcionar.

Para que este aparato marche sin tropiezo, es preciso que el tubo de aspiración no tenga mas de 2 ó 3 metros de altura, no debiendo esceder de 40° á 45° la temperatura máxima del agua que contenga el depósito de alimentación.

Esta última circunstancia es sin duda la causa de su limitada aplicación á las máquinas fijas, pues no pudiéndose emplear el vapor perdido en calentar el agua, el consumo de combustible para vaporizarla es mayor; por el contrario, en las calderas de las locomotoras

donde el calor de aquel no se utiliza, de día en día se estiende mas, pues á la simplificacion que introduce, reúne la preciosa ventaja de poder funcionar aunque no estén en movimiento.

§ 84. **Aparatos de observacion.**—El *flotador* cuyo principio conocemos ya, es uno de los que se encuentran agrupados bajo esta denominacion. Consiste, como se vé en la fig. 4.^a (lám. 6.^a), en un *cuerpo* A suspendido de una varilla que atraviesa á la caldera y pasa por una caja de estopas B: por el otro extremo va unida á una cadena que se fija en el punto mas alto del arco C correspondiente á la palanca EDC; esta lleva el contrapeso F.

Segun el nivel del agua suba ó baje, el cuerpo A hará lo mismo, y este movimiento se traducirá en el extremo F sobre la parte dividida *ab*, ó sobre el arco *cd*, cuyo centro se encuentra en el eje de la palanca. De las tres divisiones, el cero corresponde al nivel medio.

Los inconvenientes que presenta este aparato son: falta de sensibilidad en las oscilaciones de la palanca, si la caja de estopas oprime la varilla ó escapes de vapor en caso contrario; tambien puede acontecer que el peso se desprenda á no disponer el enganche convenientemente.

§ 85. *Tubo indicador de cristal.*—La simple inspeccion de la fig. 2.^a (lám. 6.^a) basta á formarse cumplida idea de este sencillo aparato. Consta de un tubo de cristal A, cuyos extremos encajan en las piezas metálicas B, B' que llevan sus correspondientes cajas de estopas.

Abiertas las llaves C, C' el agua toma en el tubo de cristal el mismo nivel que en la caldera: la D sirve para re-

tirar el líquido de aquel cuando es necesario, y los tapones E, E' para desembarazar, caso que se obstruyan, los conductos *aa*, *bb*.

Cuando la observacion deba hacerse con alguna mayor precision, como sucede en las calderas de las locomotoras, entonces el aparato lleva lateralmente una regla dividida, análoga á la representada en la fig. 7.^a

Los inconvenientes que ofrece el *tubo indicador*, son: dificultad en la observacion cuando el cristal se deslustra, y la contingencia de que se rompa, incidente que de ordinario produce enojosas consecuencias.

Para evitar estas en parte, suele envolversele con una red metálica ó con un tubo metálico hendido en toda su longitud: ambos medios se oponen á la proyeccion de los pedazos, pero traen tambien consigo el dificultar la lectura.

La válvula colocada en el extremo inferior, tiene por objeto impedir la salida del agua de la caldera, si el incidente indicado anteriormente llegare á presentarse; no de otro modo seria posible, sin grave riesgo, correr la llave C del conducto superior.

§ 86. *Llaves de nivel*.—De ordinario son en número de tres las que llevan la calderas, si bien dos son suficientes: una de ellas corresponde al nivel mas bajo, que haya de tener el agua; otra al mas elevado; y la tercera si la tiene, al nivel medio. La fig. 3.^a (lám. 6.^a) indica la colocacion de ellas, que es sobre el frente de las calderas y al alcance de la mano del maquinista.

El diámetro de las llaves de nivel no debe ser demasiado pequeño, para evitar el que se obstruyan.

§ 87. *Silbato de aviso ó alarma.*—Como espresa su nombre tiene por objeto avisar al maquinista—que se haya descuidado no observando los indicadores—que el nivel de agua en el interior de la caldera ha bajado mas de lo que debiera. La fig. 4.^a (lám. 6.^a) lo representa detalladamente: á la pieza A, con un canal en direccion de su eje, hay atornilladas dos campanas semiesféricas B, B'; la inferior está cubierta por una lámina delgada de metal, dejando un espacio muy pequeño alrededor de sus bordes.

La gran velocidad del vapor al salir por aquel orificio anular es causa del agudo silbido que se oye, contribuyendo la forma de las piezas B, B', á hacerlo mucho mayor.

La fig. 5.^a (lám. 6.^a) representa una de las disposiciones en que funciona este aparato tanto por defecto como por exceso de agua: los lados horizontales de la parte rectangular *a* de la varilla *b*, actuando sobre el boton *c* que lleva en uno de sus extremos la palanca *d*, hace girar á la pieza *e* de forma conveniente, para que en las posiciones estremas del flotador, obre sobre la cabeza del pequeño vástago correspondiente á la válvula *f*.

A pesar de que la presion del vapor es suficiente á mantener esta última en su sitio, mientras no se vea solicitada por la pieza *e*, se ha colocado el pequeño muelle *g* para evitar los escapes cuando aquel principia á formarse.

§ 88. *Manómetros.*—Estos instrumentos, como se ha visto en el estudio de la Física, tienen por objeto medir

la tension de todo fluido elástico encerrado en un recipiente cualquiera: al par que recordemos los principios que sirven de base á los mas generalmente adoptados indicaremos, respecto á cada uno de ellos, la forma y disposicion que suele dárselos al aplicarlos á las calderas de vapor.

§ 89. *Manómetro á aire libre con tubo de cristal.*—La fig. 6.^a (lám. 6.^a) representa el mas sencillo y exacto de los manómetros: se compone de un tubo recto A de cristal abierto por sus dos estremos: el superior se encuentra en comunicacion con la atmósfera, de donde toma el nombre de *manómetro á aire libre*; el inferior penetra hasta cerca del fondo de la cubeta metálica B que, llena casi totalmente de mercurio, comunica á voluntad con la caldera por el orificio *a*, mediante la llave C.

El mercurio se introduce en la cubeta y retira de ella cuando sea necesario, por los orificios *b*, *c* cerrados con unos tornillos; la cantidad que de aquel líquido se introduzca debe ser siempre la misma.

Una caja de estopas en la parte por donde penetra el tubo C en la cubeta, impide las fugas de vapor.

Este manómetro ofrece algunos inconvenientes: exige tubos muy largos, cuando las presiones son algo considerables; está espuesto á romperse á cada paso, y si el diámetro es pequeño como de ordinario acontece, se hace la lectura con bastante dificultad, sobre todo si el mercurio se ensucia.

§ 90. *Manómetro á aire libre con tubo metálico.*—Cuando el tubo es metálico el manómetro se dispone como

representa la fig. 7.^a (lám. 6.^a). Del anterior difiere esencialmente en el índice *a* que recorre la escala graduada *b c*: suspendido de un hilo fino que pasa por la polea móvil *A*, y equilibrado por el peso *d*, despues de penetrar mas ó menos en el mercurio, cuando este baje ó suba, *d* y consiguientemente *a* seguirán sus oscilaciones.

La cubeta *B* sirve para recibir el mercurio que salga por el extremo superior, á cuyo fin cubre este una especie de sombrero que impide la proyeccion fuera de ella.

Este manómetro sobre el anterior, ofrece las ventajas de la resistencia y facilidad para la lectura. Uno y otro solamente son aplicables á calderas correspondientes á máquinas fijas.

§91. *Manómetro á aire libre de Desbordes.*—Consta figura 8.^a (lám. 6.^a) de dos tubos metálicos *A*, *B* abiertos por el extremo inferior y puestos en relacion por intermedio de la pieza *C*. La rama de la izquierda comunica con la caldera por el tubo *a*, sirviendo la llave *b* para interrumpir la salida del vapor; la de la derecha termina en un tubo de cristal *d d'* de mayor diámetro que los *A* y *B*, para que el nivel del mercurio en su movimiento ascensional no lo abandone no obstante su pequeña altura; una escala adosada á él marca el valor de las tensiones.

El recipiente *E*, en comunicacion con el tubo graduado, tiene por objeto recibir el mercurio cuando la presion esceda á la máxima que haya servido para determinar las dimensiones del aparato: por un pequeño orificio que existe en el extremo *d* se hace sentir la presion atmosférica sobre la columna líquida. El taladro que se

vé en *e* permite mantener constante la cantidad de mercurio que el aparato recibe por el extremo *f*.

Este manómetro reúne la ventaja de la lectura directa de los de cristal, y la resistencia de los metálicos por la corta estension de la parte fragil.

La graduacion así de él como de los anteriores—que tambien pudieran tener y no pocas veces se les ha dado la forma de sifon—se hace por comparacion con uno tipo, aunque ninguna dificultad ofreceria hacerlo por el cálculo, conocidos que fuesen todos los elementos que deben entrar, como son valor de las tensiones, diámetros en toda la longitud de los tubos y densidad del mercurio y aun la del agua que pudiera haber, á pesar de su escasa influencia.

No obstante las ventajas inherentes á la disposicion dada por Desbordes, como quiera que la altura del aparato ha continuado siendo muy considerable para tensiones elevadas, su aplicacion no se ha generalizado.

§ 92. *Manómetro á aire comprimido y manómetro de Richard.*—Si los manómetros que muy luego van á ocuparnos no hubieran venido á llenar los vacios que dejan los anteriores, este seria el momento de dar á conocer el de aire comprimido y el de Richard. El primero, que á pesar de sus numerosos defectos, ha sido de empleo casi esclusivo allí, donde reducidas dimensiones en todos sentidos eran de necesidad, está fundado en la ley de Mariotte. La fig. 9.^a (lám. 6.^a) recuerda el principio que sirve de base al segundó: como se vé redúcese á un tubo varias veces plegado sobre sí mismo; las partes

abc, def y *ghi* contienen mercurio, y las *cd'* *d* y *f'g'g* agua: la presión del vapor sobre la sección *a*, haciendo subir al primero en las ramas pares hasta *c'*, *f'*, *i'*, su valor será igual á la suma de las presiones originadas por las diferencias de nivel parciales—prescindiendo de la escasa influencia del agua—por tanto, si el número de ramas aumenta, la altura de estas podrá llegar á ser tan pequeña como se desee.

§ 93. *Manómetros metálicos*.—El reducido espacio que ocupan; la preciosa circunstancia de poder marcar clara y distintamente tensiones entre límites apartados sin que la sensibilidad decrezca y la poca esposición que á la rotura presentan los manómetros metálicos, justifican la rapidez con que se han generalizado, y su adopción esclusiva en las locomotoras y locomóviles.

§ 94. *Manómetro de Bourdon*.—Fúndase este sencillo y eficaz aparato en el siguiente hecho de observación: si por el interior de la espiral metálica, fig. 10 (lám. 6.^a), de sección aproximadamente elíptica y paredes delgadas se hace pasar un fluido cualquiera, cuya fuerza elástica vaya en aumento, la sección tenderá á afectar la forma circular y la espiral á disminuir mas y mas la curvatura en todos sus puntos, desenrollándose en cantidades sensiblemente proporcionales á las presiones dentro de ciertos límites: análogo efecto se observará, pero en sentido contrario, si en vez de aumentar decrecen las últimas.

Las fig. 41, 42 y 43 (lám. 6.^a) representan el manómetro en cuestión; el tubo *A*, de sección elíptica, tiene abierto el extremo *a*, y perfectamente cerrado el *b*; por el

primero está fijo á la pieza *c* que, comunicando con la caldera, da paso al vapor que ha de obrar en el interior de aquel; el segundo está provisto de una aguja que, al moverse, recorre la escala *d*, cuyas divisiones espresan atmósferas y fracciones de estas. Otra segunda aguja *e*, loca en el eje *f*, es arrastrada por la primera, para dejar marcada la máxima tension.

Todas estas partes que se acaban de indicar se encuentran colocadas dentro de la caja metálica *B*, que en su cara anterior lleva un cristal para poder hacer las lecturas.

La llave *g* tiene por objeto interrumpir á voluntad la comunicacion del interior del tubo en espiral, con la caldera.

§ 35. *Manómetro metálico de Desbordes*.—En principio se reduce á una lámina metálica cuyos estremos son fijos; la accion de una varilla sobre su parte media le trasmite la del vapor, y las flexiones, proporcionales entre ciertos límites á los esfuerzos del último, se ponen de manifiesto por una aguja que recorre una escala cuyas divisiones representan, como en el manómetro anterior, atmósferas y fracciones de estas.

Las fig. 14 y 15 (lám. 6.^a) demuestran la disposicion mas generalmente admitida. En ellas se vé la lámina *a*, fija á los soportes *b*, sobre la cual se apoya la varilla *c*, mediante la accion que recibe del vapor que viene por *d*: *e* es una membrana de cautchouc para evitar las fugas; el resto del mecanismo no ofrece dificultad alguna.

El resorte *f* que apoya sobre el piton *i*, que lleva el

sector dentado, no tiene otro objeto que obligar á que esté siempre en contacto la lámina *a* y el brazo *k*, facilitando igualmente el movimiento de retroceso de la aguja.

El manómetro metálico de Desbordes es sencillo, poco costoso y de fácil reparacion: tanto este como el de Bourdon deben ser graduados por comparacion con uno tipo, de cuya exactitud en las indicaciones estemos seguros.

§ 96. **Aparatos de seguridad.**—Se comprenden bajo esta denominacion á todos aquellos que mas ó menos eficazmente contribuyen á evitar la rotura de la caldera; ya por esplosion si es debida á un exceso de fuerza elástica del vapor, ó bien por aplastamiento en el caso que la tension atmosférica sea la que supere.

Generalizadas las calderas cilíndricas con espesores suficientes para marchar á alta presion, apenas nos detendremos en los medios empleados para oponerse á la rotura por aplastamiento.

§ 97. *Válvula de seguridad.*—El aparato por excelencia para evitar las esplosiones, el único verdaderamente aplicado á los generadores de vapor es la *válvula de seguridad*, representada en la fig. 4.^a (lám. 7.^a)

En ella hay que considerar la *válvula propiamente dicha* A; el *asiento* B ó sea la pieza sobre que descansa aquella, y por último la *palanca* C.

La primera se reduce á un disco circular de bronce, fig. 2.^a (lám. 7.^a), ligeramente cóncavo provisto de las tres aletas *a, b, c* torneadas al diámetro de la entrada corres-

pondiente al asiento B. Este tiene la forma de una pequeña columna de hierro colado; la válvula, como la parte sobre que descansa, debe ser de bronce para evitar los efectos de la oxidación. La palanca C, que es de segundo género, recibe la acción del vapor por intermedio del pequeño cilindro de acero que, terminado en dos conos, se ve alojado en el suplemento que lleva la válvula en la parte superior.

La carga de las válvulas correspondientes á generadores de máquinas fijas, está compuesta ordinariamente de pesos colocados al extremo de la palanca C, guiada en su movimiento por la horquilla D: otras veces, cuando la caldera está espuesta á fuertes sacudidas ú oscilaciones mas ó menos grandes, se reemplazan aquellos por la tensión de un muelle cuyas disposiciones mas usuales se indican en las fig. 3.^a y 4.^a (lám. 7.^a)

El diámetro del orificio de salida, que ha de satisfacer á la condición de proporcionar paso á todo el vapor que, con la tensión máxima para que esté calculada la caldera, pueda formarse durante la marcha mas activa del hogar, se determina—en el supuesto de que haya dos válvulas, para estar mas á cubierto de toda contingencia enojosa—por la fórmula

$$D = 2,6 \sqrt{\frac{S}{n - 0,418}} \quad \text{siendo}$$

D diámetro que se busca, en centímetros;

S superficie de caldeo en metros cuadrados;

n tensión del vapor en atmósferas.

:

El peso en kilogramos de la carga que debe pasar por el centro del orificio, si se prescinde del correspondiente á la atmósfera, se encuentra sustituyendo en el valor general

$$P = \frac{\pi D^2}{4}(n - 1) 1,0333$$

los particulares que tengan D y n ; la significacion de estas cantidades es la misma que en la fórmula anterior.

Los reglamentos fijan en $\frac{1}{30}$ del diámetro D , el ancho del reborde de la válvula; en ningun caso debe esceder de 2 milím.^s

§ 98. *Redondelas y taponos fusibles.*—Se componen de una aleacion de plomo y bismuto, susceptible de fundir á la temperatura correspondiente á la máxima tension para que esté calculada la caldera.

Aunque la situacion de las redondelas, cuando las hay, es en la parte superior de los generadores, los taponos suelen colocarse en la superficie que mira hácia el hogar y cerca de la línea exterior correspondiente al nivel mas bajo del agua: si por un descuido, esta llega á descender mas de lo que debe, el tapon se funde, deja paso al agua; el hogar queda apagado, y las consecuencias evitadas.

§ 99. *Válvula inversa.*—Solo es aplicable cuando haya temor de que la caldera ofrezca poca resistencia á la presion atmosférica: consiste en una válvula que se abre de fuera á dentro, retenida en su posicion por un ligero contrapeso.

§ 400. **Piezas relativas á las comunicaciones; caja de estopas.**—Con frecuencia hemos venido haciendo mencion de la *caja de estopas*: su objeto especial, como se ha indicado y ha podido verse, es impedir las fugas de vapor ó de otro fluido cualquiera contenido en un vaso, del que una de sus paredes al menos se halla atravesada por una pieza en movimiento, generalmente rectilíneo-alternativo.

Las fig. 5.^a y 6.^a (lám. 7.^a) demuestran las disposiciones mas usuales: la primera, si son de hierro colado; la segunda, para cuando se emplee el bronce, laton y hierro forjado: la simple inspeccion basta á comprender las partes que las constituyen y diferencias que hay entre ellas: *a*, fig. 5.^a, es la *caja*, *b* la *estopa*, *c* el *casquillo* y *d* la *cubierta ó sombrero*.

El *casquillo c* tiene el triple objeto de evitar que las estopas se introduzcan en el vaso A, arrastradas por la pieza B; que no se agrande é inutilice la entrada *ee*, y disminuir el rozamiento.

§ 401. **Llave cónica.**—Basta observar las fig. 7.^a, 8.^a, 9.^a, 10, 11 y 12 (lám. 7.^a) para venir en conocimiento de las partes y disposicion de esta pieza tan útil como sencilla.

Las fig. 7.^a y 8.^a representan la llave á dos aguas, y las cuatro restantes á tres, denominaciones que toman del número de tubos que parten de ellas.

Se colocan casi siempre, allí donde haya necesidad de establecer é interrumpir la comunicacion, generalmente entre dos depósitos.

Unas se sitúan en la parte mas baja de las calderas, para dar salida á las aguas, cuando haya que limpiarlas; y otras en los tubos correspondientes á la alimentacion y toma de vapor.

§ 402. *Agujero ó entrada del hombre.*—Las calderas tienen generalmente en la parte superior, otras veces en uno de sus extremos, una abertura por donde se entra á reconocerlas y repararlas, que se llama *agujero del hombre*.

Como es natural se mantiene herméticamente cerrada, mientras no haya necesidad de hacer uso de ella: la disposicion del cierre se indica en las fig. 13 y 14 (lám. 7.ª)

§ 403. *Colocacion en los generadores de los aparatos dados á conocer anteriormente.*—Con objeto de no debilitar las calderas, facilitar la observacion, y que todos los aparatos funcionen debidamente; se suelen agrupar y disponer de un modo análogo al que se demuestra en la fig. 15 (lám. 7.ª), que representa una caldera cilíndrica con hervidores.

Existen disposiciones en que no solamente el flotador, sino el mecanismo que pone en juego la válvula del silbato de aviso, se encuentran dentro de la caldera.

§ 404. **Pruebas á que se someten las calderas.**—Construidas las calderas cuyos espesores han debido calcularse por la fórmula del § 80 y provistas de todos los aparatos que prefijan los reglamentos, es preciso, sujetándose á estos tambien y antes de que pasen á funcionar, someterlas á una prueba que garantice la bondad de construccion y la de los materiales empleados.

La prevenida en aquellos se reduce á hacer soportar á la caldera, si es de chapa de hierro ó de cobré, una presión triple de la efectiva para que esté calculada, y cinco veces mayor si fuese de hierro colado.

Llenada esta formalidad ante un comisionado del gobierno, se fija á aquella una pequeña chapa de laton indicando el número de atmósferas que debe alcanzar la tensión máxima del vapor.

§ 105. **Principales causas que producen las explosiones de las calderas.—Incrustaciones; medios que se oponen á su formacion.**—La prueba á que se someten las calderas antes de su recepcion, escluye ó al menos restringe mucho la suposicion de atribuir el terrible accidente de las explosiones á la mala calidad del material empleado ó á un defecto de construccion: tales accidentes reconocen otras causas.

Sometidas las calderas á la accion de un fuego mas ó menos intenso, el material—generalmente chapa de hierro—cuya resistencia por esta circunstancia decrece sensiblemente, se oxida, y sus espesores pueden disminuir tanto, que, si no hay la vigilancia necesaria reconociéndola minuciosamente de vez en cuando, no debe sorprendernos que con la presión normal lleguen á reventar. Si á esto se añade que por descuido ó maliciosamente, los aparatos de seguridad no responden á las presiones superiores á aquellas para que están calculadas las calderas, menos de estrañar sería todavía en este caso la manifestacion del accidente.

Si parte de la superficie de caldeo, por cualquier mo-

tivo, llega á quedarse en seco—como acontecería en el caso de que su nivel descendiera por bajo de la region superior del conducto correspondiente—la chapa, no bañada en su interior, se enrojecería disminuyendo notablemente su tenacidad, hasta el punto de poderse iniciar la rotura con una presión no muy excesiva: pero no es este el momento peligroso de que tal accidente se presente, sino en las oscilaciones de la masa fluida, ó al alimentar la caldera; entonces, es cuando la transformación casi instantánea en vapor de una gran cantidad de agua, produciendo sobre las paredes de aquella una terrible sacudida, vence su resistencia, que encuentra muy debilitada, y es causa de enojosísimas consecuencias.

Estas se multiplican por la circunstancia de que, rotas ya las paredes y en comunicación el interior con el exterior, nuevas masas de agua, por la elevada temperatura que esta tiene y disminución de presión, pasan rápida y tumultuosamente al estado de vapor.

Fácil será comprender que para que un descenso de nivel con todos los aparatos de observación que hemos dado á conocer sea causa de explosiones, preciso es, no ya un ligero descuido, sino el mas punible abandono por parte del maquinista.

Las aguas con que se alimentan las calderas suelen llevar en suspensión, ó en disolución, sustancias estrañas, que—ya por ser menos solubles en el agua caliente, como por el líquido que se vaporiza—se depositan sobre las paredes de aquellas; si por cualquier medio no se sacan á menudo, se van adhiriendo hasta llegar á

adquirir tal consistencia, que es preciso apelar para desprenderlas, al cincel y martillo.

Imaginemos pues una caldera, cuya superficie interior, en la parte correspondiente á la de caldeo, esté revestida de una capa, endurecida ya, de las sustancias en cuestion: la escasa conductibilidad de estas para el calor, será causa de que se consuma mas combustible para la misma produccion de vapor; desamparada por el agua la superficie interior, la exterior llegará hasta enrojecerse, y si por cualquier incidente se presentan algunas grietas, el líquido penetrando por ellas, se vaporizará rápidamente al tocar la pared enrojecida modificando, como en tales casos acontece, el estado molecular: esta formacion rápida de vapor será seguida de un desprendimiento mas ó menos grande de la costra terrosa reproduciéndose, al dejar en descubierto una cierta estension de superficie, los terribles efectos antes mencionados: de aquí la necesidad de evitar á todo trance que tales incrustaciones se formen.

El medio mas sencillo y eficaz, es limpiar la caldera con la frecuencia necesaria, para que los depósitos no lleguen á tener un espesor considerable y menos á endurecerse.

Si las aguas estuvieren tan cargadas de sustancias que exigiesen extracciones muy frecuentes, se apelará, como medio auxiliar para disminuir estas, á echar en el agua otras que impidan el que se fijen aquellas: la *patata* ha sido de las que han dado mejores resultados.

Tambien se ha ensayado purificar las aguas antes de emplearlas, destilándolas en recipientes á propósito, ó bien empleando agentes químicos para precipitar las sustancias contenidas en ellas: uno y otro procedimiento han dado resultados bastante satisfactorios.



LECCION 5.ª

SUMARIO.

Máquinas de vapor propiamente dichas.—Cilindros.—Embolos ó pistones.—Aparatos de distribución.—Condensación.—Proporciones de algunas partes de las máquinas y datos relativos á las mismas.—Cuestiones relativas á máquinas establecidas.—Establecimiento de máquinas.

§ 106. **Máquinas de vapor propiamente dichas.**—Conocidas estas en principio, de las que oportunamente hicimos varias agrupaciones, y terminado el estudio de los generadores que de ordinario se emplean en la industria para la producción del vapor de agua, es llegado el momento de complementar el de las máquinas, ocupándonos algo circunstanciadamente de las partes principales que entran en ellas, si bien con independencia de toda disposición particular.

En toda *máquina de vapor propiamente dicha* hay que considerar: primero, el *receptor*, cuya denominación hemos dado también á aquella, por ser el órgano principal donde se desarrolla el trabajo del vapor; segundo, la parte destinada á la distribución de este para entrar en aquel; y tercero, si la máquina es de

condensacion, debe estar provista del aparato necesario para verificarla.

El *receptor* consta á su vez del *cilindro de vapor* y del *émbolo ó piston*.

§ 107. **Cilindro de vapor.**—Las fig. 16 y 17 (lám. 7.ª) lo representan: es un cilindro A de hierro colado, hueco y cerrado con los platos *a* y *b* que se denominan respectivamente *fondo* y *cubierta*; esta última da paso al *vástago c* que vá unido al *émbolo B*; una *caja de estopas d* impide las fugas de vapor.

Algunas veces—generalmente en las máquinas de grandes dimensiones—para guiar mejor el piston, se halla provisto el fondo del cilindro de otra caja de estopas que, análoga á la de la *cubierta*, dá paso á un segundo *vástago* perteneciente al mismo *émbolo*.

En el espesor de metales del cilindro se encuentran los conductos *e, f* por donde alternativamente entra y sale el vapor; estos últimos por constituir espacios nocivos, deben tener la menor longitud posible: adosada á él se vé la parte C que corresponde al aparato distribuidor.

El *cilindro* debe estar provisto de las llaves necesarias para dar salida, así al agua que provenga del vapor que se condense en él, como la que pueda arrastrar de la que contiene la caldera.

Por los pequeños cálices ó embudos *g, h*, con sus correspondientes llaves, se lubrican respectivamente el *vástago* y cilindro: tambien conviene que contenga al menos un taladro para colocar el *indicador* cuando sea necesario: mas adelante describiremos este aparato.

Para evitar la condensacion del vapor en el cilindro se cubre exteriormente con una envuelta formada de duelas de madera, ya sola ó colocada sobre fieltro ú otra materia que conduzca mal el calor. Otras veces se le envuelve con un segundo cilindro de hierro colado, y se hace circular aquel antes ó despues de haber trabajado; lo primero es preferible: para impedir igualmente la condensacion de esta *camisa de vapor* que así se llama, suele cubrirse el cilindro exterior, de madera, fieltro, etc., ó bien se apela, como algunos hacen, al empleo de una segunda *camisa de aire*.

La determinacion del espesor de las paredes del cilindro, número y diámetro de los *pernos* ó *bolones* que retienen el *fondo* y *la cubierta*, son cuestiones resueltas en la seccion de este curso, relativa á la resistencia de materiales.

Con el fin de utilizar los cilindros, cuando por el rozamiento del émbolo hayan perdido la forma circular, suele darse un aumento á los espesores, sobre el que ya deben tener, para que puedan tornearse nuevamente.

§ 408. **Embolos ó pistones correspondientes á las máquinas de vapor.**—Ya queda dicho que estos se reducen en principio á unos *discos* ú *obturadores* que, recibiendo la accion directa del vapor, se ven obligados á tomar un movimiento rectilíneo de vaiven, escepto en las máquinas que hemos llamado *rotativas*, en que es circular-continuo.

En los émbolos hay que considerar el *émbolo propiamente dicho* y el *vástago fijo* á él.

El vástago es un cilindro macizo de hierro dulce por cuyo intermedio se trasmite hasta el órgano operador, la acción que del vapor recibe el piston.

§ 109. *Embolos cubiertos de cáñamo.*—Consta como se vé en las fig. 1.^a y 2.^a (lám. 8.^a) de la parte A que recibe el nombre de *caja*; de la *cubierta* B fija á ella con los tornillos *a*, que atraviesan las estremidades de los nervios *b*, y de la envuelta *c* formada con trenza de *cáñamo*.

El reborde *d* de la cubierta afecta exteriormente la forma de papo de paloma para que apretando los tornillos, sea mas íntimo el contacto que se establece entre el cáñamo y la superficie interior del cilindro.

Con la llave transversal *e* se consigue la union del piston y vástago, á cuyo fin la cabeza *f* es tronco-cónica.

Este sistema de émbolos—que reúne la preciosa ventaja de adaptarse fácilmente á las paredes interiores del cilindro, aunque tenga alguna ligera ondulacion ó no sea perfectamente circular—solamente se vé aplicado á máquinas de baja presion, pues destruyéndose el cáñamo por el calor, exige que se renueve con frecuencia en las de alta presion; y aun así es muy difícil evitar el paso del vapor de una á otra region, de las dos en que queda dividido el cilindro.

Este inconveniente desaparece en parte con la disposicion que se indica en las fig. 3.^a y 4.^a (lám. 8.^a) cuya diferencia esencial respecto á aquel, consiste en los dos *anillos metálicos* *a*, *b*. Despues de torneados estos á un diámetro algo mayor que el del cilindro de vapor, se abre cada uno por una generatriz y se colocan de modo que no

se correspondan los cortes para evitar las fugas ó escapés de él: *c*, son piezas de hierro dulce en que se han abierto las tuercas correspondientes á los tornillos *d*. El plato *e* evita que se aflojen estos últimos y hace desaparecer las cabezas dejando plana esta base del émbolo.

§ 410. *Embolos metálicos*.—Bajo esta denominacion comprendemos á los que en su construccion no entran otras materias que las metálicas; y en tal concepto aplicables á todas las máquinas, cualquiera que sea la tension del vapor.

El representado en las fig. 5.^a y 6.^a (lám. 8.^a) disposicion que se ha empleado mucho, consta de dos órdenes, y cada órden se compone á su vez de dos anillos, cuyas secciones son *a*, *b*, *c*, *d*; los exteriores suelen estar divididos cada uno en cuatro segmentos colocados de manera que las juntas no se correspondan; los interiores solo tienen un corte cada uno.

Los resortes en espiral *e* ejercen su accion sobre estos últimos que la trasmiten á los de fuera.

Este piston, preferible á los anteriores, ofrece la contra de entorpecerse los muelles mas ó menos, por la suciedad que arrastra el aceite dispuesto á penetrar hasta ellos por las uniones de los segmentos.

En el que demuestran las fig. 7.^a y 8.^a (lám. 8.^a) queda anulado este inconveniente.

A mas de los muelles *a* que ejercen su accion sobre la parte media de los segmentos *b*, hay otros que la trasmiten á las cuñas *c*; colocadas entre cada dos de aquellos.

Esta disposicion ofrece la contingencia de que el cilindro pueda rayarse fácilmente y hasta inutilizarse, por la accion demasiado viva de las cuñas sobre la superficie de aquel.

La manera de fijar el piston al extremo del vástago con el auxilio de dos tuercas como indican las fig. 7.^a y 8.^a, es preferible al uso de la llave.

Uno de los sistemas que mas aceptacion alcanzan por lo eficaz y sencillo es el representado en las fig. 9.^a y 10 (lám. 8.^a)

Tiene dos órdenes, compuesto cada uno de dos anillos, un muelle en espiral y dos cuñas. El espesor de aquellos decrece por igual á uno y otro lado de la parte mas gruesa donde únicamente se hallan hendidos y dispuestos para recibir las cuñas *a*, *b*: la facilidad con que muellean los anillos hace que sea mas íntimo el contacto con el cilindro.

El émbolo que demuestran las fig. 11 y 12 (lám. 8.^a) empleado por Stephenson en las locomotoras tiene tres anillos, el interior *a* de la misma altura que los *b* y *c* reunidos; estos últimos se ajustan entre sí por medio de la ranura y resalte que respectivamente llevan. Todos tres se hallan divididos cada uno en tres segmentos, y colocados como siempre, de modo que las juntas no se correspondan: los muelles en vez de ser en espiral, están formados de láminas de acero que se ponen en tension con los tornillos *d*.

Los anillos que llevan los émbolos, se construyen generalmente de hierro colado y de hierro dulce mas ó

menos aceroso: algunas veces suele emplearse tambien el bronce.

§ 111. **Aparatos de distribucion.**—Para que el émbolo que recorre el cilindro de una máquina de vapor pueda alternativamente, recibir por una y otra cara y durante un período mas ó menos largo la accion de aquel, preciso es que oportuna y alternativamente tambien, se interrumpan con el generador los conductos que desembocan en *i*, *k*, fig. 17. (lám. 7.^a) y que á la vez estos orificios se pongan en comunicacion con la atmósfera ó condensador, para dejar escapar al que haya trabajado: tal es el objeto de los *aparatos de distribucion* que, aunque muy variables en su forma, pueden reunirse bajo tres agrupaciones distintas caracterizadas por la pieza destinada especialmente á realizar aquella.

Por otra parte, como el vapor puede obrar en las máquinas, con expansion ó sin ella, de aquí que esta circunstancia sirva de base para clasificar á su vez, los comprendidos en cada una de aquellas agrupaciones.

§ 112. *Llaves tronco-cónicas.*—Las *llaves tronco-cónicas* movidas á mano y en número suficiente, fueron en un principio el único mecanismo empleado para llevar á cabo la distribucion en las máquinas de vapor: pero muy luego se encontró el medio de hacer automático el juego de ellas, y de que con una sola, como indican las fig. 13 y 14 (lám. 8.^a) quedase resuelto el problema.

En ellas se observan los conductos *ab*, *cd*, cuyas cuatro aberturas corresponden á los extremos de dos diámetros perpendiculares entre sí: en la posicion, fig. 13,

el *ab* establece la comunicacion entre el tubo A parte del generador, y la cara superior del émbolo; el vapor que ha trabajado y llena la capacidad B, busca la salida al propio tiempo y se dirige hácia el tubo *e* de *educacion* ó *escape*, pasando antes por el conducto *cd*: la fig. 14 corresponde á la entrada del vapor por la parte inferior.

Este sencillo y primitivo mecanismo de distribucion, totalmente abandonado, tiene la contra de ofrecer estrechos pasos al vapor y de gastarse al poco tiempo las superficies de contacto, dando lugar á cierto juego por donde aquel penetra fácilmente: apretando la tuerca, que retiene á lallave en su posicion, puede por de pronto corregirse esto último, si bien con un aumento de resistencia que ofrecerá aquella al girar, aumento que seria mayor si se la dieran dimensiones tales, que los conductos *ab* y *cd* tuviesen las convenientes.

Todas las modificaciones mas ó menos ingeniosas por que ha pasado la *llave tronco-cónica* no han bastado á privarla de los vicios que la son inherentes; de aquí su completa abolicion al aparecer los *distribuidores* que vamos á estudiar, preferibles tambien á otros mecanismos que pasamos en silencio por ser de ninguna ó escasísima aplicacion.

§ 113. *Distribucion por correderas*.—De todos los medios ideados para dar solucion al problema que nos viene ocupando, uno de los mas eficaces y mas exento de inconvenientes y por tanto que ha llegado como á constituir el tipo por escelencia y casi esclusivo de los aparatos de distribucion en las máquinas de vapor, es el

que en principio se representa en las fig. 15 y 16 (lám. 8.^a)

El cilindro A tiene una parte plana con tres orificios; *a*, *b* de *admisión* ó *introducción* y *c* de *escape*, *salida* ó *edución*. Sobre dicha parte, que recibe el nombre de *mesa* ó *plataforma* se encuentra la caja prismática B que se la distingue con el de *caja de vapor*; dentro de esta se vé otra mas pequeña que descansa sobre la *mesa* por sus cuatro rebordes *d*, *f*, *e*, *g*; estos dos últimos se denominan *bandas* (*).

La pieza *h*, que indistintamente será llamada *corredera* ó *distribuidor* y que dá nombre al sistema, lleva el pequeño marco *i* de hierro (* *), al que está unido al extremo de la varilla *k* que atraviesa la pared *l* de caja de vapor y pasa por la de estopa *m*.

El movimiento rectilíneo-alternativo de la *corredera* está relacionado con el del *piston* por un órgano ó mecanismo conveniente: de los mas generalizados—y que adoptaremos para facilitar la inteligencia de lo que vamos á decir sobre este punto—es el que consiste en una *escéntrica circular* montada sobre el mismo árbol de la manivela, destinada á recibir la acción del émbolo, y de tal modo, que de la marcha de ambos sea encontrada ó cruzada; es decir, que cuando la *corredera* ocupe su

(*) Las letras *d*, *f*, *e*, *g*, fig. 16 (lám. 8.^a), deben estar colocadas sobre la parte media de los lados del rectángulo que limita la proyección horizontal del distribuidor: véase la fig. 1.^a (lám. 9.^a) en que este último se halla representado en mayor escala.

(* *) En proyección horizontal, como es fácil comprender, este pequeño marco debiera estar representado de otro modo: la fig. 16 (lám. 8.^a), puede inducir á error en este detalle. Consúltese la fig. 4.^a (lám. 9.^a) aclaratoria de la fig. 1.^a de la misma lámina.

posicion media, en principio podemos admitir que el *piston* se halla en una de las estremidades del cilindro y recíprocamente.

Segun esto, el distribuidor, tan luego se encuentre en su *posicion media*, se moverá en el sentido mismo que el *piston*, que debe hallarse en tal momento dispuesto á principiar uno de sus viajes; y al terminar el segundo su carrera, el primero ha de estar de regreso, y precisamente en su *posicion media* otra vez; reproduciéndose una cosa análoga en los cursos sucesivos.

Despues de todo, y en presencia de las fig. 45 y 46 (lámina 8.^a), fácil será comprender, que el vapor que viene de la caldera entra en la caja B y penetra en el cilindro por el orificio *a* ó *b*, segun el émbolo se encuentre en *C'* ó *C''*, escapando el que ha trabajado, en busca del de salida; por el *b*, si el de formacion entra por *a*; y por este, si la entrada tuvo lugar por aquel.

Manifestado en principio el mecanismo y modo de funcionar el mas sencillo de los aparatos de distribucion por *correderas*, pasemos á ocuparnos de los que principalmente están en uso.

Todos, como veremos, reconocen por fundamento el movimiento rectilíneo de vaiven de *piezas apropiadas*, con orificios ó sin ellos, que resbalando las unas sobre las otras, y una de ellas al menos, sobre la mesa que forma parte del cilindro, proporcionan oportunamente entrada y salida al vapor, así como la interrupcion de este cuando convenga.

§ 414. *Distribucion sin expansion, por una sola cor-*

redera.—Difiere del que en principio acabamos de dar á conocer en algunas modificaciones señaladas por la experiencia.

Prescindiendo por ahora de la magnitud de los orificios *a, b, c*, fig. 1.^a (lám. 9.^a), cuyas dimensiones dependen de la cantidad de vapor que en un tiempo dado haya de entrar en el cilindro, proporcionando igualmente fácil salida al que ha trabajado, el *ancho de las bandas*, que teóricamente bastaria que fuese igual al de aquellos y al de las partes llenas *d, e* que los separan, en la práctica, para impedir los escapes, tiene que ser mayor rebasándolos á uno y otro lado, como se vé en la figura, en la posición que corresponde á la media del distribuidor y que se halla indicada con puntos.

Los aumentos *f, g, h, i* se designan particularmente con el nombre de *recubrimientos*; interiores los *f, g*, y exteriores los *h, i*: aquellos, generalmente pequeños, pueden ser nulos, y á veces hasta negativos, en cuyo caso se dice que hay *descubierto interior* (*).

Pero al salvar aquel inconveniente dando mayor ancho á las bandas, aparece otro que la experiencia aconseja evitar; en efecto, refiriéndonos á la fig. 1.^a (lám. 9.^a), cuando el émbolo se halla en una de las posiciones extremas á que corresponden los puntos muertos de la manivela, el distribuidor, encontrándose á la mitad de su curso, impide por un tiempo mas ó menos largo la entra-

(*) Con objeto de facilitar la inteligencia de estas definiciones y aclarar el trazado algo confuso de la fig. 1.^a (lám. 9.^a), reproducimos en mayor escala la parte referente al distribuidor, y la mesa con sus orificios.

da del vapor así como la salida del que ha trabajado; de aquí la conveniencia de dar á a corredera cierto *avance* ó *adelanto*, es decir, que antes de terminar el émbolo su carrera, las bandas hayan descubierto los orificios de admision, circunstancia que á la vez proporciona la ventaja de amortiguar la fuerza viva de aquel disponiéndolo para que sin choque principie á retroceder.

En el *avance lineal* que así se llama, debemos distinguir el *avance propiamente dicho* y el *avance total*: el primero está medido por la estension lineal que, de los orificios de admision haya sido descubierta por las bandas al llegar el piston á sus posiciones extremas; el segundo por el camino que tiene que recorrer el distribuidor desde su posicion media, á la final del avance propiamente dicho.

La esperiencia ha hecho ver tambien que entre el *avance* correspondiente á la admision del vapor y el de salida debe existir en favor de este último una diferencia; lo que constituye una especie de *avance relativo*, merced al cual, el vapor que ha trabajado principiará á escapar antes que el nuevo obre sobre el émbolo: su valor estará espresado por el exceso del recubrimiento exterior sobre el interior, cuando la corredera, bien entendido, se encuentre en su posicion media.

Si continuamos con la suposicion de que el movimiento del distribuidor sea producido por una escéntrica, montada sobre el árbol mismo] de la manivela movida por el vástago del émbolo mediante la biela G, fig. 4.^a (lám. 9.^a) es evidente, que si el rádio de escentri-

cidad y el del boton H deben ser normales entre sí—abstracion hecha de la inclinacion de las bielas I, G,—para que el piston se encuentre en las estremidades del cilindro cuando la corredera ocupe la posicion media, y recíprocamente, en el caso práctico del *avance lineal* dicha perpendicularidad dejará de existir á consecuencia del *avance angular* que habrá que dar al rádio de escentricidad.

La determinacion de esta cantidad angular y el conocimiento de las posiciones relativas del distribuidor y piston, durante un curso doble, no deben ofrecer dificultad despues del estudio que de cuestiones análogas se hizo en la Cinemática.

El aparato de distribucion que acabamos de describir exige un ajuste perfecto entre las superficies de contacto de la mesa y *distribuidor*, mediante el cual y la diferencia de presiones á que este último está sometido, se evitan las fugas de vapor; pero esto mismo es causa de que se desarrolle un trabajo resistente no despreciable cuando el distribuidor tiene grandes dimensiones.

§ 415. *Distribuidor de Watt*.—Las fig. 2.^a y 3.^a (lám. 9.^a) representan el aparato distribuidor que lleva el nombre de Watt; aunque la disposicion difiera de la del anterior, su manera de funcionar permite asimilarlo á este: una ligera descripcion basta á comprenderlo.

El vapor llega por el tubo A á la caja B, cuya seccion es semicircular ó en forma de D; por dentro de ella se mueve una corredera hueca abierta por sus extremos y de análoga seccion movida por una escéntrica: las partes

planas *ab*, *cd* que hacen de *bandas*; se hallan perfectamente ajustadas á otras que corresponden á las estremidades de la caja B y que por analogía podemos decir que constituyen la *mesa* ó *plataforma* sobre que están los orificios de distribucion.

Como en este aparato el vapor envuelve al distribuidor para evitar—y esta es una de sus ventajas sobre el anterior—la enorme presion que en otro caso se ejerceria sobre la mesa, hácia los extremos de B lleva dos cajas de estopa *e*, que difieren de las que conocemos por este nombre, sino en objeto, al menos en forma y disposicion; dichas cajas al par que impiden los escapes de vapor contribuyen á guiar en su marcha al distribuidor.

De las dos posiciones correspondientes á la *pieza distribuidora*—representadas ambas en la fig. 2.^a (lámina 9.^a)—una de ellas, responde al caso de entrar por *f* el vapor de formacion, y de salir por *g* el que ha trabajado durante el último viaje; en la otra posicion marcada con puntos, aunque en sentido contrario, sucede una cosa análoga, con la única diferencia de que el vapor que escapa, antes de llegar al tubo *h* de educion, tiene que pasar por el interior de la *corredera*.

A mas de la ventaja ya señalada, el aparato de Watt ofrece otra; la de quedar anulados los espacios nocivos debidos á los conductos que recorre el vapor, desde la caja de este nombre á las estremidades del cilindro.

Sus inconvenientes son: estar espuesto el distribuidor, cuando ha adquirido cierta temperatura, á torcerse

ó alabearse por su estremada longitud; ser bastante pesado; imposibilidad de que las cajas de estopa de que hemos hecho mencion, impidan sin oprimir demasiado á esta última, los escapes de vapor, exigiendo ser renovadas con frecuencia, sobre todo si la temperatura del último es algo elevada; y por último, el enfriamiento del de formacion al ponerse en contacto con la corredera cuya superficie interior se encuentra siempre en comunicacion con el condensador. Todo esto viene á justificar la escasa aplicacion que hoy dia tiene el distribuidor de Watt.

§ 116. *Distribuidor de Watt modificado.*—La simple inspeccion de la fig. 4.^a (lám. 9.^a), basta para comprender la diferencia esencial que separa á este del anterior. El contacto de las bandas y plataformas de los orificios de distribucion se mantiene por la accion de un muelle sobre la cara posterior del tirador, cuya seccion es rectangular; evitándose por este medio el uso de cajas de estopa.

§ 117. *Distribuidor compuesto de dos sectores.*—Tambien puede considerarse este como una modificacion del de Watt, con el objeto de hacerlo mas ligero y evitar los alabeamientos.

Se compone como indica la fig. 5.^a (lám. 9.^a), de dos pequeñas cajas de vapor de seccion semicircular y en comunicacion entre sí por el tubo A de chapa de hierro. Las piezas B, B' que dan nombre á este distribuidor, son dos semicilindros divididos cada uno en dos partes, por las paredes ó tabiques *a*, *b*: ambos sectores fijos á la varilla

ó pequeño vástago *c*, resbalan por las mesas *d*, *e*, cuyo contacto mantienen por las cajas de estopa *f*.

D, D' son los orificios de *admission*; E, E' los de *educcion*, F la entrada del vapor que viene de la caldera, despues de haber recorrido el espacio que entre sí dejan las paredes del cilindro y la envuelta exterior ó sea la *camisa g*.

La fig. 5.^a pone de manifiesto las posiciones de los sectores, segun la admision sea por D ó D'.

Este distribuidor no presenta otro sério inconveniente, que el que nace de las pequeñas cajas de estopa mencionadas anteriormente.

§ 118. *Distribuidor compuesto de dos pistones*.—Despues de lo que dejamos dicho respecto á los distribuidores anteriores, fácil será comprender la disposicion y modo de funcionar del que representa la fig. 6.^a (lám. 9.^a) conocido tambien por *distribuidor cilindrico*.

A, indica la *entrada* del vapor en la caja B; C y C' los orificios de *admission*; D y D' los de *salida*.

Este distribuidor no ofrece el inconveniente señalado en el de sectores.

Todos los aparatos de distribucion desde el de Watt inclusive hasta el último que acabamos de dar á conocer, tienen sobre el de *corredera simple* una ventaja que les es comun; la de quedar en todos ellos equilibrada la accion del vapor y por tanto ser constante, á igualdad de circunstancias, el trabajo absorbido por el rozamiento cualquiera que sea la tensión de aquel.

§ 119. *Aparatos de distribucion para expansion; sistemas fundados en el de corredera simple*.—De todos los

aparatos de distribución para el caso de obrar el vapor por expansión los más generalizados reconocen por fundamento la *corredera simple*: de ellos únicamente toca ocuparnos en estas lecciones.

La expansión puede ser fija, ó variable á voluntad; y de aquí las diversas combinaciones para alcanzar una ú otra, y la natural división en *aparatos de distribución para expansión fija, y para expansión variable*:

§ 120. *Expansión fija por una simple corredera*.—La fig. 7.^a (lám. 9.^a) que representa un cilindro con su émbolo y un *distribuidor simple*, servirá para hacer comprender cómo por medio de este, es posible obtener una expansión conveniente entre límites determinados.

Si nos fijamos en ella será fácil observar, que la manera de transmitir el émbolo su movimiento al árbol principal y modo de recibirlo el distribuidor, son los indicados ya en los §§ 113 y 114.

Esto sentado, cuando el pistón ocupe la posición extrema A, debe corresponder otra al distribuidor, tal como la *a*, en que queden descubiertos los *avances* para el *escape* y *admisión*: á partir de este instante, uno y otro se moverán en el sentido que indica la flecha *b*, hasta que la *corredera* llegando á su posición final *c* retroceda, sin que el émbolo detenga por esto su marcha.

Ahora bien, tan luego como el extremo *d* (*) de la banda

(*) Para evitar toda confusión, hemos referido á la línea *m n*, paralela al eje del cilindro, los orificios, bandas, avance, etc., y con igual objeto se ha trazado además la fig. 7.^a que representa en mayor escala la mesa y distribuidor correspondientes á la fig. 7.^a (lám. 9.^a).

$d d'$ se encuentra en e , es evidente, que desde este momento quedará interrumpida la admision; y si el ancho de las bandas es el que conviene, el vapor principiará á obrar por expansion: la duracion de este período quedará fijada por lo que media desde la interrupcion, hasta que el otro extremo d' llegue á e' . Así que esto último suceda, el piston debe estar ya muy cerca de la estremidad A' , á la que llegará, despues que se haya presentado el *avance* para la admision del vapor por el orificio de la derecha: una cosa análoga tendrá lugar durante la marcha contraria del émbolo.

Segun esto, la *expansion por una simple corredera* es producida por un exceso de *recubrimiento exterior*, de donde toma el nombre de *expansion por recubrimiento*, pues cuando aquel no existia ó era muy pequeño, así como el *interior*, el orificio de admision solo permanecia interrumpido durante un momento despreciable con relacion al viaje de ida ó vuelta del émbolo.

Si la manera de funcionar la *corredera con recubrimientos* ha sido perfectamente comprendida, desde luego se verá la imposibilidad de obtener en buenas condiciones, ni aun la expansion correspondiente á la mitad del curso del émbolo; y esto por quedar interrumpida la salida del vapor, que escapa á la atmósfera ó al recipiente condensador, antes de que el piston haya recorrido las tres cuartas partes del curso total, originando notables pérdidas de trabajo, ya acrecidas en este sistema por el aumento de superficie que requieren las bandas. Uno y otro inconveniente tomarian mayores proporci-

nes en el caso de pretender que fuese mas considerable el período expansivo.

Como consecuencia de esto, el límite máximo de la expansion obtenida por una *corredera única* no suele exceder en la práctica de $\frac{1}{3}$ á $\frac{1}{4}$ del curso del émbolo.

Sin embargo de tan reducido efecto, la estremada simplicidad de este aparato distribuidor es causa de sus numerosas aplicaciones, especialmente en las locomotoras donde su adopcion es general.

§ 121. *Expansion fija obtenida con dos correderas.*—Consta, fig. 8.^a (lám. 9.^a), de una *corredera ordinaria* en cuyas estremidades existen dos taladros rectangulares que la atraviesan en todo su espesor y son del mismo ancho que los orificios de distribucion que tiene la mesa: por la parte superior de ella, perfectamente ajustada y entre rebordes laterales, se mueve otra pequeña *corredera plana*.

Ambas tienen, su *escéntrica particular* cada una, si bien montadas sobre el mismo árbol, para comunicarles el movimiento que se subordina, así como las dimensiones, á obtener una *expansion determinada*, expansion, que sin los inconvenientes expresados en el distribuidor anterior, puede ser mucho mayor que en este.

En vez de una sola caja de vapor se ha adoptado la disposicion que indica la fig. 9.^a (lám. 9.^a) en que existen dos, en comunicacion por el taladro A.

Cuando la pequeña *corredera B* interrumpe oportunamente la entrada del vapor en la caja C, da principio



el período de expansión. El efecto de esta, como es fácil comprender, no es tan inmediato como en el distribuidor anterior.

También se han construido para expansión fija aparatos distribuidores que solo difieren esencialmente de los dos últimos en tener la corredera superior los dos taladros *a*, *b*, fig. 4.^a (lám. 40), modificación que unida á las partes llenas que existen en los extremos de ella proporcionando notables recubrimientos, facilita el medio de poder alcanzar una expansión determinada.

Para disminuir las dimensiones de la corredera superior, se han inclinado los conductos *c*, *d*, disposición que puede adoptarse en todos los casos análogos.

§ 122. *Expansion variable de Farcot*.—Consta, fig. 2.^a y 3.^a (lám. 40), de las partes principales A *caja de vapor*, y B *corredera*: sobre la mesa ó *plataforma* de la primera, que tiene los tres orificios *a*, *b*, *c*, corre la segunda que como de ordinario, está ahuecada en su parte media.

Los orificios *a*₁, *b*₁ se ensanchan hácia la parte superior, dividiéndose cada uno en otros tres, *a*₂ y *b*₂: sobre estos se encuentran las *correderas* C, D, que tienen dos taladros cada una, los *a*₃ y *b*₃, y á mas, los pequeños *botadores* E, F atornillados en las *orejas* ó *resaltes* *d*, *e*.

Los muelles *f*, en número de cuatro y sujetos por la parte media á los costados de la corredera B, obligan á que esta en su movimiento sea acompañada por las piezas C, D, en tanto que un obstáculo no venga á detenerlas.

En cada extremo de la caja existe un tornillo cuya cabeza sirve de *tope* ó *retenida* á los *botadores* E, F.

La cubierta de la caja de vapor está atravesada por el eje G á cuyo extremo se encuentra una pieza H que tiene la forma de una doble *leva*, ya como se indica en la figura 3.^a, ó bien como se ha representado en la fig. 4.^a de la misma lám. 10: su objeto es análogo al de los *topes* *g*, *h*, es decir, detener hácia la parte media el movimiento de las *correderas* C, D, á cuyo fin están provistas estas, de los suplementos ó *talones* *i*, *k* que hacen las veces de *botadores*.

I, representa el *vástago* que trasmite el movimiento á la *corredera* B; y K es otro segundo *vástago*, mucho mas corto, para guiar á esta última, que ya lo está lateralmente por unos rebordes que lleva la mesa.

L, M son dos aberturas para observar si todo el mecanismo interior funciona bien, y si así no fuere, arreglarlo en vista de la *expansion* fijada de antemano.

Despues de esta descripción no será difícil comprender el juego de las distintas partes que constituyen el sistema que nos ocupa.

Fijándonos en la fig. 2.^a se observa: primero, que el *talon* *i* se halla en contacto con la pieza H, contacto que ha debido tener lugar antes del momento que consideramos, toda vez que los orificios a_2 están cubiertos; y segundo, que el *botador* F lo está con el *tope* *h*, indicando la situación de la *corredera* B y de las C, D, el principio de la *expansion* correspondiente al curso de izquierda á derecha.

Aunque detenidas las piezas C, D al chocar con H y boton *h*, la *corredera* B continúa su movimiento resbaldando por la parte inferior de ellas, con lo cual los orificios a_2 llegarán á ser *rebordados*, y descubiertos los b_2 ; en este estado, el vapor solo esperará para obrar sobre la cara opuesta del émbolo el que se presente libre el orificio *b*.

Al retroceder B, se lleva consigo á C y D; pero así que E choque con *g*, y *k* con H se detendrán nuevamente, y á partir de este instante se reproducirá una cosa análoga á la que acabamos de indicar.

La disposicion y manera de funcionar de este ingenioso y escelente sistema nos hace ver, que no es dable obtener con él una expansion durante la cual, el émbolo recorra menos de la segunda mitad de su curso.

Cuando se desee trabajar sin expansion ó á una determinada dentro de aquel límite no hay mas que—una vez arreglados los botadores y todas las demás partes del mecanismo—hacer girar convenientemente la pieza H.

El movimiento de esta puede ser á mano ó automático: un cuadrante recorrido por una aguja indica sus posiciones.

§ 123. *Expansion variable de Meyer*.—Uno de los mecanismos mas sencillos para alcanzar distintos grados de expansion, es el representado en la fig. 5.^a (lámina 40).

En principio no es otro que el dado á conocer en el § 121, y se representó en la fig. 8.^a (lám. 9.^a), con la sola

diferencia de poder á voluntad hacer variar la longitud de la corredera superior, compuesta aquí de las dos mas pequeñas A, B atornilladas al husillo C.

La inclinacion suplementaria de los filetes correspondientes á las dos partes roscadas, permite que A y B, que no pueden girar, se separen ó aproximen, aumentando ó disminuyendo en su consecuencia la longitud de la corredera.

Examinada la figura detenidamente ninguna dificultad puede ofrecer el conocimiento del modo de funcionar este aparato de distribucion.

El grado de expansion lo marca el índice *a*, obligado á moverse longitudinalmente, por impedirle la rotacion el apéndice *b* correspondiente á la pieza *c*: esta, fija á la caja de vapor—aunque no se indica en la figura—se halla dispuesta de modo que no pueda oponerse al movimiento del husillo.

§ 124. *Distribucion por medio de válvulas cónicas.*—Las *válvulas cónicas* constituyen el fundamento de una de las tres agrupaciones, que comprenden los principales aparatos de distribucion.

Las fig. 6.^a y 7.^a (lám. 40), indican las disposiciones adoptadas respectivamente en máquinas á simple y doble efecto.

De las tres válvulas *a*, *b*, *c*, fig. 6.^a, la *a* llamada de *admission*, da entrada ó interrumpe su llegada al vapor que viene de la caldera por el conducto A; la *b*, que se denomina de *equilibrio*, establece la comunicacion entre las dos bases del émbolo; y la *c* que se conoce por

válvula de *educion* ó *salida*, deja escapar al vapor por el tubo B, despues de haber trabajado.

El juego de este mecanismo es sencillo: en la posicion que indica la fig. 6.^a, las caras del piston se encuentran sometidas á presiones iguales, y este último sube (*) á consecuencia del contrapeso que lleva; cuando por el contrario *a* y *c* permanecen abiertas y *b* cerrada, el vapor de la caldera obra sobre la base superior, escapando por el tubo B el que ha producido su efecto.

Las dos válvulas *a*, *c* están montadas generalmente sobre una misma varilla ó pequeño *vástago* *d*; el de la *b* es hueco, y con el mismo eje que aquel.

En la fig. 7.^a (lám. 40) que demuestra la disposicion de las válvulas cónicas para el caso de que el vapor obre alternativamente sobre las dos bases del émbolo, se ven: dos cajas A, A' divididas cada una respectivamente en tres partes *a*, *b*, *c* y *a'*, *b'*, *c'*: las cuatro válvulas *e*, *f*, *e'*, *f'* provistas de sus correspondientes varillas que son puestas en movimiento por las escéntricas *g*, *h* montadas sobre el eje *i*; y por último, los tubos B, C que respectivamente conducen el vapor desde la caldera á los primeros departamentos *a*, *a'*, y desde *c*, *c'* á la atmósfera ó condensador.

Para comprender fácilmente la manera de funcionar las *válvulas*, supongamos que el vapor acaba de obrar

(*) La esplicacion supone que la marcha del émbolo sea vertical, y que la válvula *a* ocupe la posicion mas elevada.

sobre la cara inferior del piston (*), y que va á principiar á ejercer su accion sobre la superior.

El fluido conducido por B, entra por el orificio *k*, encuentra levantada la *válvula e* y atravesando el departamento *b*, se introduce en el cilindro con quien este último está en comunicacion: á la vez que esto sucede, el vapor que ha trabajado sale por *b'* y se precipita en el tubo C en busca del condensador ó de la atmósfera. Una cosa análoga se reproduce en el siguiente curso.

De aquí se deduce, que para quo el aparato en cuestion funcione bien, es preciso que oportunamente y á la vez se abran ó cierren, tan pronto las *válvulas e, f'* como las *f, e'*.

El único inconveniente que en verdad puede objetarse al sistema que se acaba de dar á conocer, es el que ya fué notado al ocuparnos de la *corredera simple*, el exigir esfuerzos considerables para levantar las *válvulas* cuando la presion del vapor alcanza tensiones algo fuertes.

Para remediarlo se han ideado las *válvulas equilibradas*, cuya adopcion en ciertas máquinas es única y exclusiva: una ligera descripcion bastará á formarse cumplida idea de la manera como están dispuestas y modo de funcionar.

§ 125. *Válvulas equilibradas*.—Se componen, fig. 8.^a y

(*) Aquí, debemos hacer una observacion, análoga á la que nos ha sugerido en la fig. 6.^a de la misma (lám. 10); y es, que la esplicacion supone, que el eje de la fig. 7.^a (lám. 10) sea horizontal y que la caja A se encuentre en la parte superior.

Esta disposicion, en que los ejes de las *válvulas* son verticales, es la adoptada para los sistemas de distribucion fundados en ellas.]

9.^a (lám. 10), de la *válvula a* propiamente dicha, provista de su *vástago b*, y del *asiento* ó *apoyo c* de la misma: la primera es hueca y abierta por sus bases, pues el cubo donde se fija el extremo de la varilla está unido á sus paredes por tres ó cuatro brazos; el segundo está constituido por un *anillo d*, que lleva un suplemento cilíndrico con cuatro aberturas laterales que dejan paso al vapor: el perno *e* y la barreta *f* sirven para retener el *asiento* en su posición.

La fig. 8.^a indica las partes sobre que se apoya la *válvula*: la 9.^a representa cuando está levantada.

Un ligero exámen de estas posiciones basta para comprender que esta *válvula*, sin aumento de complicación—lo que no acontece á otros mecanismos—se encuentra casi equilibrada, siendo insignificante el esfuerzo que exige para hacerla funcionar; á mas de esto, reúne la preciosa ventaja de pronunciar gran paso al vapor, al mas ligero movimiento que experimente.

Ya hemos dicho, que la *escéntrica circular* es uno de los medios mas en uso para producir en el *sistema de corredera*, el movimiento de la pieza que tiene por objeto comunicar é interrumpir el interior del cilindro, ya con la caja de vapor, ya con la atmósfera ó condensador; pero como quiera que por su disposición, trasmite al distribuidor una velocidad lentamente progresiva, lo que es causa de que los orificios de admisión no se cierren ni descubran rápida y totalmente, como convendría, de aquí la idea de las *escéntricas* cuya directriz esté formada por arcos de círculo trazados con distinto radio, para

lograr, al par que la pieza distribuidora quede estacionada en los momentos oportunos, el paso rápido de una á otra de sus posiciones.

La disposicion fig. 10 (lám. 10) corresponde al caso de no haber período expansivo; como se vé es una escéntrica triangular cuya directriz está formada de tres arcos de círculo *a, b, c* que ejercen su accion sobre los lados mayores del marco rectangular, al cual va unido el vástago del distribuidor.

La fig. 11 (lám. 10) que conviene para cuando hay expansion tiene los cuatro arcos de círculo *a, b, c, d*, que se unen entre sí por las curvas *e, f, g, h*: la accion en este caso, tiene lugar directamente sobre los pequeños rodillos *i, k*.

En la práctica no se ha generalizado este sistema tanto como era de esperar, sin duda, por los inconvenientes que ofrecen siempre los cambios bruscos de movimiento, y á mas, porque las escéntricas circulares permiten, disminuyendo el ancho de los orificios de admision—lo que se compensa con su mayor longitud—anular casi totalmente el que se les atribuye.

§ 126. *Condensador*.—Ya se ha manifestado cuál es su objeto; licuar el vapor que ha trabajado en el cilindro á fin de disminuir el efecto nocivo de la *contrapresion*.

Dos son los medios adoptados para conseguir la condensacion; por mezcla con el agua, ó por contacto con superficies metálicas convenientemente enfriadas: el primero será el único de que nos ocupemos; el segundo es empleado en las máquinas marinas.

Tres son las partes principales que comprende un aparato de condensacion: el *condensador propiamente dicho* A, fig. 12 (lám. 10), la *bomba de aire* B, y el *deposito* C que recibe el agua que saca la última.

En el *condensador propiamente dicho* hay que observar: la parte *a* á manera de una *regadera*, por donde se inyecta el agua; el *indicador b del vacio*, que tiene uno de sus extremos en comunicacion con la atmósfera, y el otro con el condensador; la *llave cónica c* para dar salida al aire del condensador, mediante un chorro de vapor antes de principiar á funcionar, siempre que la máquina haya estado detenida algun tiempo; el *tubo d* por donde se inyecta aquel para la operacion anterior; y por último, la *entrada e ó agujero del hombre* análoga á la de las calderas.

La *bomba de aire* que es aspirante á simple ó doble efecto, y cuyo émbolo se representa en la fig. 4.^a (lámina 11), tiene por objeto, no solo retirar el agua del condensador, sino tambien el aire que contiene este recipiente: de esta última circunstancia, toma su denominacion.

El *depósito* C fig. 12 (lám. 10), destinado á recibir el agua que saca la *bomba de aire*, proporciona tambien la necesaria para alimentar las calderas: su forma es generalmente prismática.

Las ventajas del condensador han quedado suficientemente demostradas al comparar la bondad de las máquinas con relacion al efecto útil.

Sus inconvenientes pueden reducirse á estos tres:

mayor complicacion y entretenimiento mas costoso; absorcion de una parte del trabajo motor para mover la bomba de aire, y por último exigir una gran cantidad de agua que no siempre es posible proporcionarse.

§ 127. *Dimensiones del condensador y bomba de aire.*— Su determinacion está fundada en el conocimiento de la cantidad de agua necesaria para condensar un peso dado de vapor, y en el del volúmen que ocupe en el condensador, el aire que aquel líquido lleva siempre en disolucion.

Si representamos por

- P la cantidad de agua necesaria para condensar
 1 kilóg. de vapor
 t temperatura de esta agua
 T id. del vapor
 t' id. en el condensador
 F' tension id.

$$P = \frac{606,5 + 0,305 T - t'}{t' - t} \dots\dots (1)$$

Será, § 12, el valor formular de P.

Si en él introducimos los valores particulares $t'=38^\circ$, temperatura media en los condensadores; $t=12^\circ$, que es próximamente la que de ordinario tiene el agua que se emplea para la condensacion; y suponemos que la tension del vapor que produce la *contrapresion* (*) sea de 0,5

(*) La tension en el condensador, difiere muy sensiblemente, de la que existe en la region del cilindro, en comunicacion con él; lo que ha de tenerse en cuenta para no tomar una por otra, debiendo, en cada caso, ser determinadas separadamente.

de atmósfera, resultarán para P, algo menos de 23 kilóg., ó sean 23 litros de agua.

Como por otro lado, el volúmen de aire, que contiene el agua en disolucion, es, por término medio, la $\frac{4}{17^a}$ parte del que corresponde á ella, y que tan luego aquel esté sometido á una presion F' y temperatura t', alcanzarán uno igual á

$$\frac{4}{F'} \times \frac{P}{17} \times \frac{272,48 + t'}{272,48 + t}, (*)$$

el volúmen teórico que necesita engendrar el piston de la bomba de aire, por cada kilógramo de vapor condensado, será, designándolo por U'

$$\begin{aligned} U' &= P + \frac{4}{F'} \times \frac{P}{17} \times \frac{272,48 + t'}{272,48 + t} = \\ &= P \left\{ 1 + \frac{4}{17 + F'} \times \frac{272,48 + t'}{272,48 + t} \right\} \dots\dots (2) \end{aligned}$$

Del exámen de las fórmulas ((1)) y ((2)), se desprende inmediatamente: primero, que la cantidad de agua aumenta, disminuyendo la temperatura en el condensador; y segundo, que á medida que se desee menor tension en este, el volúmen engendrado por el piston de la bomba de aire, tiene que ir en aumento.

(*) Este valor se obtiene con el auxilio de la fórmula ((3)) § 5, substituyendo por V y F, respectivamente $\frac{P}{17}$ y una atmosfera.

Inútil parece advertir que P, en litros, es el volúmen correspondiente al peso en kilógramos necesario para condensar uno de vapor, en las circunstancias que sirvieron de base al establecimiento de la fórmula ((16)) § 12.

Como de uno ú otro modo, se acrece el trabajo absorbido por esta última, de aquí la conveniencia de que t' y F' no deban traspasar ciertos límites, si no han de quedar ilusorias las ventajas de la condensacion: la práctica ha señalado 30° próximamente para la primera, y 0,4 de atmósfera para la segunda.

La máxima temperatura en los aparatos de condensacion, no suele esceder de 50° , algunas veces va mas allá, lo que ha de evitarse, si se desea que las bombas funcionen convenientemente.

Respecto á la tension máxima en aquellos recipientes, solo diremos, que hasta 0,3 y 0,4 de atmósfera llega muy comunmente; y que desde 0,2 hácia 0,4 indican ya una excelente condensacion.

El volúmen que ordinariamente se dá á las bombas de aire, cuando son á simple efecto, respecto al de la cantidad de agua que han de retirar, es 8 veces mayor que el de esta última.

El del condensador suele ser igual al de la bomba, otras veces mucho menor.

El correspondiente al depósito que recibe el agua que retira la bomba de aire, debe ser bastante grande: su magnitud se determina, generalmente, en vista de la localidad.

Como se habrá podido observar, al ocuparnos de las partes principales que constituyen las máquinas de vapor, no hemos hecho mencion de ciertos aparatos que acompañan á muchas de ellas—y cuyo objeto es regular su marcha—en atencion á haber espuesto ya

la teoría de ellos en la primera sección de este curso.

Sin embargo de esto, no debemos omitir la indicación al menos, de la pieza que representa la fig. 2.^a (lám. 41), conocida por *válvula de cuello*, la que, bien á mano, ó puesta en movimiento—generalmente por el regulador de fuerza centrífuga—permite con facilidad aumentar ó disminuir el paso del vapor por el tubo A, que desde la caldera se dirige al cilindro.

§ 128. **Proporciones de algunas partes de las máquinas y datos relativos á las mismas.**—

La relación entre la altura y diámetro del cilindro es muy variable.

Si se tiene en cuenta tan solo la consideración de que sea un *mínimum* la superficie condensadora, la unidad será la relación más conveniente (*).

Si las proporciones de los cilindros se subordinan á que los espacios nocivos sean los más reducidos para un volumen dado de vapor que entre en ellos, entonces convienen cursos largos y diámetros pequeños.

Respecto al rozamiento de los pistones, las ventajas están de parte de los cilindros cortos y de gran diámetro.

Los grandes cursos exigen manivelas de mucho radio, largos vástagos y bielas, y mayores emplazamientos.

(*) El cálculo hace ver, que para un volumen dado, afectando la forma cilíndrica, la mínima superficie corresponde al caso de ser iguales el diámetro y altura; pero esto supone, que todo el fluido esté en contacto con las paredes durante el mismo tiempo, lo que aquí no sucede, toda vez que el vapor entra de una manera progresiva: si se admite que la superficie lateral no equivale, en cuanto á los efectos de la condensación, más que á la mitad, la relación 1 : 1 se convierte en la 2 : 1.

Los cortos producen mayor número de revoluciones y esponen á un deterioro prematuro, á todos los órganos de la máquina.

Como una natural consecuencia de circunstancias tan distintas, de las que, algunas de ellas conducen á resultados opuestos, las proporciones adoptadas en la práctica, se sujetan generalmente, á la exigencia mas imperiosa del servicio particular á que se destine cada máquina.

La relacion adoptada por Watt entre la altura y diámetro del cilindro era 2 : 4.

Esta relacion ha sido algo exagerada por los constructores americanos.

En las *máquinas marinas*, que disponen de espacios muy limitados, los cilindros son de gran diámetro y de poca altura, para obtener velocidades de rotacion considerables y longitudes reducidas para el vástago, biela y manivela.

En las máquinas fijas los constructores franceses mas acreditados dan al cilindro una altura igual á 2,5 3 y 3,5 del diámetro.

La esperiencia ha venido á fijar tres tipos de *velocidad* para los émbolos de las máquinas de vapor, siendo en este concepto clasificadas en *máquinas de poca, mediana y gran velocidad*, segun esta sea inferior á 1 metro por segundo, se halle comprendida entre 1 y 2, ó sea superior á 2 metros.

En las locomotoras llega á ser por término medio unos 4 metros.

En las máquinas fijas de gran fuerza, 4,^m5 es el tipo generalmente adoptado.

Los *orificios de distribucion* deben ser bastante grandes para que el vapor entre en el cilindro en cantidad suficiente, y obrando sobre el piston, venza con una velocidad determinada la resistencia de la máquina; solo quedan limitados por la consideracion, de que exagerando sus dimensiones, habria que hacer otro tanto con el aparato distribuidor, dando lugar á notables aumentos de resistencia, y mayores espacios nocivos.

Los *orificios de escape ó salida* deben ser tambien muy grandes; si cabe mas que los anteriores, atendiendo á lo que crece la resistencia en el caso de no ofrecer aquellos, ancho paso, al vapor que ha terminado su trabajo.

Para las máquinas de gran velocidad la superficie de los orificios en cuestion, es la $\frac{4}{10^a}$ parte próximamente de la seccion del émbolo: para aquellas en que la velocidad de este último es 4,^m5 quedan comprendidos entre $\frac{4}{20}$ y $\frac{4}{30}$ que viene á ser la regla de Watt, por la que les daba la $\frac{4}{24^a}$ parte.

Para la relacion entre el *ancho y longitud* de los orificios de admision del vapor en el cilindro, cuando una simple corredera ó derivado de esta, sea el aparato

distribuidor, puede admitirse poco mas ó menos la de 4 : 6.

El *diámetro* de los tubos, que desde el generador recorre el vapor antes de entrar en el cilindro, suele ser $\frac{4}{5}$

del correspondiente al piston: siempre que sea posible, se dará á aquellos una ligera inclinacion, para que el agua arrastrada por el vapor, y la que pueda provenir de la condensacion de este, vuelva por su peso á la caldera.

La relacion entre el *volúmen* de la bomba de aire y el del cilindro la hacia Watt igual á $\frac{1}{8}$.

La *velocidad* del piston de aquella, oscila generalmente entre 0,^m6 y 1,^m5 por segundo.

§ 129. **Cuestiones relativas á máquinas establecidas.**—Entre las numerosas investigaciones que permiten hacer las fórmulas deducidas de la teoría de Pambour, ofrecen el mayor interés, las relativas á la determinacion de los valores de f y δ , cantidades, cuya significacion se precisó en el § 24.

El empleo del cálculo directo—que para cuestiones análogas hemos dado á conocer en la primera parte de este curso—lleva en sí el doble inconveniente, de ser prolijo, y el de no haber posibilidad siempre, de tener en cuenta, con la debida exactitud, todos los elementos que influyen en el valor de aquellas cantidades: de aquí, como ya indicamos entonces, el uso casi esclusivo de los *aparatos dinamométricos* para calcular, en máquinas es-

tablecidas, el trabajo que puede transmitir un motor cualquiera, y el que requiere una obra determinada.

El procedimiento de Pambour en las máquinas de vapor es breve, sencillo y económico: asume las ventajas de aquellos sin necesidad de un aparato mecánico, del que no es dable disponer en todas ocasiones, y que aun teniéndolo, su empleo ofrece á veces algunas dificultades por la manera como pueden estar dispuestas ó colocadas, las distintas partes de la máquina sobre que haya de aplicarse.

§ 130. *Determinacion de f.*—Si en la ecuacion ((22)) § 34, hacemos por una parte $Q=0$, y por otra ponemos en vez de F , el valor que haya resultado como necesario para que sin resistencia útil se mueva el piston con la menor velocidad posible, no habrá mas para tener resuelta la cuestion, que despejar f despues de hechas ambas sustituciones: designando por \bar{F} el valor particular que tome F , tendremos;

$$f = (n + \bar{F}) \frac{e + k}{E} \Sigma - n - F_1 \dots \dots \dots (3)$$

ecuacion cuyo segundo miembro es conocido.

Para obtener el valor de \bar{F} , se disminuirá poco á poco el fuego de la parrilla, ó bien se dará salida al vapor por la válvula de seguridad.

§ 131. *Determinacion de δ .*—La misma ecuacion ((22)) § 34, nos proporciona tambien encontrar el valor de δ .

A este fin manténgase la presion F en la caldera y aumentese poco á poco la carga útil, hasta que observe-

mos que la máquina se mueve con la menor velocidad que sea dable imprimirle.

Representemos por \bar{Q} el valor de Q' en tal supuesto, y sustituyéndolo en la ecuación ((22)), el valor de δ será

$$\delta = \frac{1}{\bar{Q}} \times \frac{e+h}{E} \Sigma(n+F) - \frac{1}{\bar{Q}} \left\{ n + F_1 + f \right\} - 1 \dots (4)$$

Si el valor de \bar{Q} no fuera conocido inmediatamente, ni hubiera datos para ello, será preciso proceder á las experiencias necesarias para su determinación.

Si la naturaleza especial de Q' no permitiese aumentar su valor, entonces se disminuirá la tensión en la caldera, hasta lograr que sea máxima aquella resistencia; teniendo presente, que el nuevo valor de F se ha de introducir en la citada ecuación ((22)).

§ 132. *Determinación de la carga total de la máquina.*—Indicada la manera de proceder para encontrar δ y f , fácil será hacerla extensiva á esta nueva cuestión.

Disminúyase la tensión F , hasta obtener un valor \underline{F} para el que sea máxima la carga útil ordinaria, y después de introducido en la ecuación ((22)), despéjese la *carga total*, con lo que tendremos;

$$(1 + \delta) Q' + F_1 + f = \frac{e+h}{E} \Sigma(n + \underline{F}) - n \dots (5)$$

Los valores formularios ((3)), ((4)) y ((5)) corresponden, como ya sabemos, á una unidad superficial de la base del émbolo.

§ 133. *Determinación del efecto útil.*—Haremos uso de las ecuaciones ((14)) ó ((15)) § 27, poniendo los valores

correspondientes á las cantidades que entran en el segundo miembro.

La vaporizacion se calcula, á presencia de la superficie de caldeo, ó por comparacion con otras semejantes marchando con igual actividad: si su forma y circunstancias no permitieran asimilarla á otras conocidas, seria necesario para obtener el valor de aquella, una esperiencia preliminar.

Como quiera que el vapor siempre arrastra alguna cantidad de agua, y esta no ha de formar parte del valor de M , en el que solo se ha de considerar el volúmen correspondiente al que ha trasmitido su accion al émbolo, conviene saber, que en las calderas bien establecidas y en buenas condiciones, aquella cantidad oscila entre 1,5 á 2 p^o/_o: en las locomotoras esta cifra suele alcanzar un valor considerable; en circunstancias algo escepcionales hasta el 50 p^o/_o.

La resistencia que experimenta el émbolo por efecto de la contrapresion es muy variable y depende principalmente de su propia velocidad, magnitud de los orificios de salida, diámetro y longitud de los tubos que lo conduzcan al condensador ó á la atmósfera.

Los aparatos que se empleen para tal determinacion, han de permitir conocer en todas las posiciones del émbolo, el verdadero valor de la contrapresion: el *indicador de Watt*, que muy luego vamos á describir, puede aplicarse con ventaja á un simple manómetro.

§ 134. *Cálculo del trabajo motor.*—Conocidos los valores correspondientes á todas las resistencias que haya

de vencer el piston, resistencias que hemos supuesto traducidas sobre una ú otra de sus bases, solo restará multiplicar la suma de ellas por el camino que recorra aquel en la unidad de tiempo.

El indicador de Watt tiene por objeto dar á conocer tambien el trabajo motor.

Consta en primer lugar, este sencillo aparato, fig. 3.^a y 4.^a (lám. 44), del cilindro A provisto de su piston B: el extremo inferior del primero está roscado y por él se fija al cilindro de la máquina, el superior comunica con la atmósfera; en el vástago del segundo existe un muelle en espiral, llevando además el trazador *a*. El cilindro lateral C, que forma cuerpo con el A, se cubre de papel que queda sujeto con los muelles longitudinales *b*.

Si por un medio cualquiera—fácil de imaginar y análogo al que se indica en la fig. 3.^a—el vástago del émbolo de la máquina trasmite en una relacion determinada con el suyo, un movimiento de rotacion al cilindro C, ínterin el vapor actúa sobre el pequeño piston B, es evidente, que sobre la hoja de papel quedarán traducidas las tensiones de aquel, correspondientes á las distintas posiciones del émbolo motor.

Como línea de referencia, á partir de la cual deba contarse el valor de las tensiones, se hará trazar una horizontal: esta, corresponde ordinariamente al vacío absoluto, ó á la presion atmosférica.

A, la línea cerrada fig. 5.^a (lám. 44), que resulta sobre la hoja de papel despues de un curso doble, recibe el nombre de *diagrama*.

Para valorar la superficie comprendida por este último, se recurrirá á cualquiera de los métodos que ya conocemos: la parte que se encuentra sobre la línea AB, corresponde al trabajo motor; la inferior, al de la contrapresion.

Una *máquina establecida* puede ser objeto tambien de todas las cuestiones que, relativas á la velocidad, resistencia útil, agua vaporizada y efecto útil, se trataron de una manera general en la segunda de *estas lecciones*.

§ 135. **Ligeras consideraciones sobre el establecimiento de las máquinas de vapor.**—Al estudio de una máquina de vapor debe preceder el conocimiento de las circunstancias relativas al servicio especial de ella, y de las que se refieren á la localidad, como son: precio del combustible, cantidad de agua, emplazamiento, etc.

El dato fundamental y que sirve como de punto de partida, para la determinacion de sus dimensiones, se refiere ordinariamente, á que marchando en condiciones determinadas alcance la fuerza dinámica necesaria para ejecutar un trabajo conocido.

Deben entrar principalmente en estas condiciones:

Primero, la *velocidad* con que se haya de ejecutar la obra á que se destina la máquina motora; por depender del conocimiento de ella y de los órganos de trasmision—que deben ser en el menor número posible—la que ha de tener el piston; porque si bien teóricamente puede marchar este con velocidades muy distintas, sin embargo, por lo que dejamos establecido en el § 128 conviene

darle siempre una, que se ajuste al servicio especial de la máquina y que haya recibido la sancion de la práctica.

Y en segundo lugar, la condicion que se refiere al dato, de si la máquina ha de ser ó no á expansion, con condensacion ó sin ella, y cual el grado de la primera; pues, como desde luego se comprende, estas circunstancias influyen sobremanera en las dimensiones que haya de tener aquella.

Admitido esto, las investigaciones deben dirigirse á determinar el *volúmen* de agua vaporizada en la caldera y *tension* en esta, por ser las cantidades de quienes, en último análisis, depende el *efecto útil* de las *máquinas de vapor*.

Así pues, si partiendo de una dimension cualquiera para el diámetro del cilindro, asignamos valores particulares á las distintas cantidades que entran en las dos ecuaciones fundamentales ((9)) § 23 y ((14)) ó ((15)) § 27, menos á M y F' , y de modo que estén en consonancia con lo que haya indicado la esperiencia acerca de ellas—en máquinas que tengan analogía con la proyectada—es evidente, que la *vaporizacion* y *tension* F' serán conocidas.

Si á consecuencia del valor asignado al diámetro del cilindro, no resultaren aceptables los de F' y M , bajo el punto de vista práctico, se modificará aquel convenientemente y se determinarán de nuevo F' y M .

Despues de todo, no es difícil comprender, dada la amplitud de que se dispone en cuestiones de esta naturaleza, que se llegue á obtener un resultado satisfacto-

rio sin pasar por numerosos tanteos: en todo caso, para evitar estos, repetiremos que no deben olvidarse las indicaciones de la esperiencia, al asignar valores particulares á las cantidades que hayan de recibirlos en las citadas ecuaciones ((9)) § 23 y ((14)) ó ((15)) § 27.

Estos valores de F' y M nos proporcionan el medio—una vez elegido el tipo de caldera, que haya de alimentar á la máquina—de calcular los *espesores*, *superficie de caldeo* y cuanto se refiera al *horno* con su *chimenea*; pero al hacerlo, se tendrá presente que la tension en el recipiente generador debe ser, al menos, algo mayor que F' , y muy conveniente—para los casos fortuitos que pudieran presentarse—ponerlo en condiciones de responder á estos.

Esta consideracion nos lleva á indicar tambien, que las dimensiones dadas al cilindro y todo cuanto contribuya al *efecto útil* de la máquina debe haberse determinado con la prevision que exige la circunstancia de poder contar siempre con un exceso de potencia, relativamente á la que de ordinario se necesite.

Para resolver el problema que nos viene ocupando, y tal como se ha propuesto, es preciso, segun se ha manifestado ya, conocer los valores de las cantidades que entran en las ecuaciones ((9)) y ((15)).

Respecto á m , n y F_1 , sabemos los que deben tener en los distintos casos que pueden presentarse: los de e , E serán tambien conocidos; el primero, como dato del problema, y el segundo, como dependiente de la relacion que se establezca entre la altura y diámetro del ci-

lindro, para lo cual la esperiencia habrá de señalar la distancia que media entre la cubierta ó fondo de aquel, y el émbolo al iniciar ó terminar sus viajes; el valor de h es tambien suministrado por la esperiencia, y por último los de δ y f habrá que determinarlos por comparacion ó por la via esperimental ó bien con el auxilio del cálculo: cada caso particular indicará el camino que haya de seguirse.

A continuacion de la tabla debida á Pambour, correspondiente á los valores que va tomando la expresion

$$\Sigma = \frac{e}{e+h} + \log. \text{hip.} \frac{E+h}{e+h} \quad \text{á medida}$$

que varía la relacion $\frac{e}{E}$, se han puesto tambien los que él admite para las cantidades de que acabamos de ocuparnos.

Por lo que hace á las dimensiones de la *bomba de aire*, si la hubiere, parte muy esencial, bastará recordar lo que digimos al ocuparnos de ella.

Para el trazado del *distribuidor*, cualquiera que se adopte, se procederá análogamente á como se hizo en la parte destinada al estudio geométrico de los movimientos.

La determinacion de las dimensiones relativas á los *espesores del cilindro, manivela, biela y demás órganos* que entran en la máquina, está subordinada, como ya sabemos, á la teoría de la resistencia de materiales, siendo afectadas las fórmulas, que se derivan de ella, de coeficientes numéricos dados por la esperiencia.

Conocida la marcha que ha de seguirse, para determinar los principales elementos que entran en el complejo problema relativo al *proyecto de una máquina de vapor*, réstanos añadir que, cualesquiera que sean las condiciones á que se subordine, habrá de emplearse, para resolverlo, un procedimiento análogo al espuesto, y que por tanto, esté fundado en las ecuaciones que se derivan de la ingeniosa teoría de Pambour y en ciertos datos suministrados por la esperiencia.



LECCION 6.^a

SUMARIO.

Ligera descripción de algunas máquinas de vapor; máquinas con balanzadera.—Máquinas verticales.—Máquinas horizontales.—Máquinas de cilindro oscilante.—Máquinas rotativas.—Locomotoras.—Locomóviles.—Máquinas marinas (*).

§ 136. **Ligera descripción de algunas máquinas de vapor.**—La disposición particular de las partes de una máquina de vapor es muy variada, y fundado en esto se agrupan en diversos sistemas: de ellos vamos á ocuparnos ligeramente por no alejarnos demasiado de la índole y objeto de estas lecciones.

§ 137. **Máquinas con balanzadera: máquina de Watt á doble efecto.**—La fig. 6.^a (lám. 44) representa una de Watt á doble efecto, que puede considerarse como tipo de las máquinas con *balanzadera*.

Se distingue esencialmente, por la manera de transmitir el émbolo su movimiento, al árbol principal A: la pie-

(*) No es nuestro ánimo entrar en una descripción minuciosa de los principales sistemas de *máquinas de vapor*: el estudio de estas para que, al par que provechoso, no fatigue al discípulo, debe hacerse con presencia de excelentes modelos; no de otro modo será fácil, á quien no tiene el hábito formado, darse cuenta del objeto y disposición de todos los detalles.

Teniendo esto presente nos hemos limitado á esponer muy á la ligera, aquellas partes esenciales, que dan, permítasenos decirlo, *carácter* á la máquina: algunas veces somos mas parcos y contemplamos terminada nuestra tarea entregando al discípulo á la simple inspección de la figura.

za B, que se conoce con el nombre de *balanzadera* tiene este objeto.

Para realizarlo, el vástago del piston va unido á una de las estremidades de aquella gran palanca por medio del *paralelógramo* de Watt; en el otro extremo, se vé la *biela* C que coge el *boton* de la *manivela* D montada sobre el árbol A.

Para que los movimientos de la balanzadera, vástago del émbolo, manivela y biela, así como el de todas las demás piezas que lo reciben de la primera, conserven entre sí la relacion que debe existir, evitando por otra parte el que se violenten mas ó menos, se hace preciso proporcionar á todo el sistema una gran estabilidad; por cuyo motivo, la instalacion de estas máquinas exige las mas sérias precauciones.

Para las de gran potencia, la balanzadera va colocada por su parte media sobre un fuerte muro de sillería, que divide en dos partes el local en que se sitúa la máquina: los soportes, que reciben los muñones de aquella pieza, van fijos al muro por medio de pernos que lo atraviesan en direccion de la altura.

Para máquinas de una fuerza regular, entre 20 y 50 caballos, el muro se reemplaza por una fuerte placa que se apoya sobre los dos laterales del local, sostenida en su parte media por columnas huecas de hierro colado: largos y fuertes pernos pasando por las últimas dan solidaridad al sistema.

Para las de pequeñas dimensiones, cuya fuerza sea inferior á 15 ó 20 caballos, la balanzadera va montada

sobre dos largas vigas sostenidas por seis columnas como indica la fig. 6.^a (lám. 11), en la que solo se ven tres de estas últimas y una de las primeras.

La simple inspeccion de la figura basta á comprender todos los accesorios que forman parte de esta máquina de Watt destinada á trabajar á baja presion, con condensacion y sin expansion.

Los principales son:

E ... que representa el *condensador*;

F ... la *bomba de aire*;

G ... el *depósito* que recibe el agua del condensador;

H ... la *bomba* que alimenta á la caldera tomando el agua del *depósito* H:

K ... *bomba* que proporciona el agua en cantidad necesaria á la condensacion vertiéndola en el *depósito* L, de donde pasa al condensador por el tubo *a*, provisto de su llave *b*.

Además se ven en la figura, el *regulador de fuerza centrífuga* y la *escéntrica* que pone en movimiento al distribuidor *c*.

Los vástagos de los émbolos correspondientes á las bombas H y K están por sus extremos superiores, fijos á la balanzadera de quien reciben el movimiento.

El de la bomba de aire lo está en aquel punto del paralelógramo que tiene la propiedad de moverse próximamente en línea recta, al adquirir la balanzadera el circular de vaiven que le imprime el émbolo del cilindro de vapor.

Las máquinas, cuyo tipo acabamos de dar á conocer

no ofrecen otro grave inconveniente, que el de exigir obras de fábrica de bastante importancia, que estando espuestas á experimentar algun asiento, el sistema puede dejar de funcionar cumplidamente.

Presenta como ningun otro la disposicion mas acertada para el juego de las bombas y para marchar con una gran regularidad.

Dada á conocer la máquina de Watt, de la que se ha hecho ver la disposicion de todos sus principales accesorios, respecto á las demás nos limitaremos á ligeras indicaciones de lo que realmente las caracterice y constituya la circunstancia especial que las distingue.

§ 138. *Máquinas de Woolf.*—Estas tienen balanzadera como las de Watt.

Son á doble efecto y el vapor trabaja en ellas á alta presion, con expansion y condensacion.

En vez de un solo cilindro, fig. 7.^a (lám. 11), donde obre el vapor á plena presion y á expansion, la máquina de Woolf tiene dos, A y B; uno de mayor diámetro que otro.

Los émbolos C y D van siempre en el mismo sentido; sus cursos respectivos los principian y terminan al propio tiempo.

El vapor á plena presion trabaja únicamente en el cilindro de menor diámetro.

Supongamos que los émbolos hayan terminado su período ascendente; si en este instante el *vapor de formacion* entra por la parte superior del cilindro A y se abre al propio tiempo la comunicacion *a*, el vapor del curso

anterior se precipitará en el B, dando principio el período expansivo.

Una vez que los émbolos C y D hayan terminado ambos su viaje, en el siguiente se reproducirá una cosa análoga, cerrándose las comunicaciones *a* y *b*, y abriéndose las *c* y *d*.

Las *e*, *f* tienen por objeto permitir que se dirija al condensador, el vapor que contiene el cilindro grande despues de la expansion: la *e* debe abrirse á la vez que las *a* y *b*; la *f* al propio tiempo que *c* y *d*.

Si la teoría sobre el trabajo mecánico del vapor fué comprendida, su aplicacion á la máquina de Woolf no debe ofrecer grandes dificultades.

En la práctica la relacion de los volúmenes de los cilindros es de 1 : 4 ó de 1 : 5.

Como es fácil imaginar, la expansion puede principiar antes de terminar su curso el émbolo C.

La máquina de Woolf es empleada generalmente cuando se desea la mayor regularidad posible en el movimiento; pues comparada con las de un solo cilindro se observa que el trabajo elemental de la fuerza motriz varía entre límites mas reducidos.

§ 439. **Máquinas verticales.**— Se diferencian estas de las anteriores, que tambien son de cilindro vertical, en no tener *balanzadera* y en transmitir el émbolo mas directamente su movimiento, al árbol principal.

Como consecuencia de esto son mas sencillas, de instalacion mas fácil, ocupan menos sitio y son mas económicas.

A pesar de ser numerosas las disposiciones que han recibido, pueden reunirse todas ellas bajo tres agrupaciones.

Máquinas verticales en que el árbol principal del movimiento se encuentra mas elevado que el cilindro.

Máquinas verticales en que el árbol principal descansa cerca del suelo, y el cilindro se halla mas elevado.

Y máquinas, que comprendidas en estas últimas tienen el cilindro *invertido*.

Las fig. 8 (lám. 11) y 1.^a y 2.^a (lám. 12), indican las tres circunstancias que caracterizan la division anterior y la manera como el émbolo trasmite el movimiento á la manivela.

La disposicion, fig. 8.^a (lám. 11), ofrece menos estabilidad que las otras dos, por lo que queda limitada su aplicacion á motores de poca fuerza.

De las otras dos, la representada en la fig. 1.^a (lámina 12), á pesar de su mayor complicacion, es preferible en cierto modo, á la de cilindro invertido que se demuestra en la fig. 2.^a de la misma lámina, en atencion á su mayor estabilidad y á estar mejor dispuestas todas sus partes para ser lubricadas.

Aunque nada se indica en las figuras, parece inútil manifestar que todas estas máquinas pueden ser á expansion fija ó variable, y con condensacion ó sin ella.

§ 440. **Máquinas horizontales.**—Estas—que como las verticales reciben la denominacion de máquinas á accion directa—constituyen el tipo mas generalizado.

Las distingue una simplicidad superior á la que ofrecen las dadas á conocer anteriormente: descansando sus partes sobre el piso mismo del taller y teniendo mucha menos altura ofrecen una gran estabilidad, esta circunstancia permite sin grandes inconvenientes, velocidades considerables, á que no seria prudente llegar en los otros sistemas: el estar al alcance de la mano todas sus partes hace que el conductor pueda ejercer la vigilancia sin la menor molestia, lubricando oportunamente aquellas que lo requieran.

La experiencia ha hecho ver que, si bien los cilindros horizontales están mas espuestos que los verticales á perder la forma circular, la diferencia no es tanta, que dé lugar á considerarse esto como un grave inconveniente; el que, en todo caso, puede ser combatido guiando al émbolo por medio de otro vástago que atraviese el fondo.

La fig. 3.^a (lám. 12), indica la disposicion de esta clase de máquinas. Un ligero exámen basta para comprender la manera de funcionar y objeto de cada una de sus partes.

§ 141. **Máquinas de cilindro oscilante.**—Se designan así á todas aquellas en que, por supresion de la biela, fig. 4.^a (lám. 12), el extremo del vástago va unido al boton de la manivela; viéndose en su consecuencia obligado el cilindro, á tomar un movimiento circular de vaiven, de donde recibe la denominacion de *oscilante*.

El cilindro tiene para girar y ser soportado, dos muñones; ya en su parte media, ó bien hácia un extremo.

Para que pueda recibir la accion del vástago, lleva

este dos pequeñas ruedas que se apoyan sobre las varillas fijas á su cubierta: varillas, que al mismo tiempo sirven de guía, á pesar del movimiento oscilatorio del sistema.

Las máquinas de cilindro oscilante bien ajustadas y montadas son excelentes; y se construyen así de mucha, como de poca fuerza.

§ 142. **Máquinas rotativas.**—El carácter distintivo de estas, es imprimir directamente al émbolo un movimiento de rotación, que se trasmite al árbol principal, sin auxilio de órgano intermedio alguno.

Hasta ahora, este interesante problema no había recibido una solución práctica: todas las tentativas habían sido inútiles.

A consecuencia de los rozamientos, las superficies en contacto se gastaban y las fugas de vapor eran inevitables, y de aquí un consumo de combustible, superior en mucho al de las máquinas ordinarias.

Pero en el último certámen internacional que ha tenido lugar en París, parece ser que algunos constructores, entre ellos el norte-americano (según tengo entendido) Mr. Hicks, han resuelto cumplidamente el problema: si así fuere, puede asegurarse que la adopción de las máquinas rotativas será casi general por su mucho menor volumen y mayor simplicidad comparadas con las que se emplean hoy día (*).

Por ahora nos limitaremos á indicar en principio, la

(*) El poco tiempo de que disponemos y el no conocer circunstanciadamente las condiciones de la máquina de Hicks, nos impiden ocuparnos de ella como quisiéramos.

solucion dada por el ilustre Watt á tan interesante problema. La fig. 5.^a (lám. 42) hace ver la disposicion adoptada por él.

Consta del émbolo A que se mueve dentro de la caja cilíndrica B: la accion del vapor que viene por C, le imprime un movimiento de rotacion, que á su vez recibe el árbol principal D.

E, es una especie de válvula á charnela que permanece siempre en la posicion que tiene en la figura, mientras el émbolo no viene á tropezar con ella haciéndola girar, de modo que le permita el paso al terminar cada una de sus revoluciones.

F es el tubo por donde escapa el vapor despues de haber trabajado.

Cuando la naturaleza del trabajo que haya de ejecutarse requiera una gran regularidad, para cuyo caso hemos dicho que convienen las máquinas con balanzadera, puede conseguirse tambien disponiendo que dos cualesquiera, oscilantes ó no, trasmitan simultáneamente su accion al mismo árbol, y de modo que el trabajo elemental de la fuerza motriz varie lo menos posible.

Las máquinas así dispuestas en que los cilindros pueden estar colocados horizontalmente ó bien inclinados, y aun mismo ó distinto lado del árbol, se conocen indistintamente con la denominacion de *apareadas*, *acopladas* ó *conjugadas*: su número no suele esceder de cuatro.

§ 443. **Locomotoras.**—Terminada esta rápida ojeada sobre los principales sistemas de máquinas fijas, pasemos á indicar, ya que no otra cosa, la disposicion

general de las partes que esencialmente entran en las locomotoras y locomóviles.

La fig. 6.^a (lám. 12) representa una de las primeras.

El motor está constituido por dos máquinas apareadas colocadas á distinto lado de la locomotora y delante del eje A á quien transmiten directamente el movimiento.

El vapor trabaja en ellas á alta presion, con expansion y sin condensacion.

Los vástagos de los émbolos, que están perfectamente guiados como puede observarse en el que se ve en la figura 6.^a, van unidos cada uno á su biela *a*.

Los botones *b* que respectivamente llevan las ruedas B, que se denominan *motrices*, son cogidos por los extremos de las bielas: de este modo se comprende fácilmente que la rotacion de aquellas sea una consecuencia inmediata del movimiento rectilíneo-alternativo de los émbolos.

Los aparatos distribuidores se reducen á *simples correderas* movidas por escétricas circulares montadas sobre el eje principal A.

C situada encima del cilindro D, representa una de las cajas de vapor.

En la fig. 7.^a se vé en escala mayor la disposicion del mecanismo que manda al vástago correspondiente á uno de los distribuidores, mecanismo que se conoce particularmente por *corredera* de Stephenson, y con el que es posible cambiar á voluntad el sentido del movimiento de la locomotora.

Sobre el eje motor A se ven dos escétricas B, B', cu-

yas bielas C, C' están unidas por la *corredera* D.

El boton *a* corresponde al extremo del vástago de uno de los distribuidores: la palanca recodada *b, c, d, e*, sirve para transmitir á la *corredera* el movimiento que con venga, por medio de la varilla *f* que está al alcance de la mano del maquinista.

Despues de esto, fácil será comprender el juego de este mecanismo.

Si el boton *a* se encuentra en la parte media de la *corredera* es evidente, que esta no hará otra cosa que girar alrededor de aquel que casi quedará reducido á la quietud; en este caso se dice que el distribuidor se encuentra en su *punto muerto*.

Si admitimos por el contrario que el boton ocupe uno de los extremos de la *corredera*, inútil parece indicar que la accion que experimenta el distribuidor será debida en su totalidad, ó poco menos, á la biela correspondiente á dicho extremo.

Ultimamente, si el boton ocupa posiciones intermedias respecto á las dos señaladas, fácil será ver tambien, que obedeciendo el distribuidor á dos acciones que se contrarian mas ó menos, su curso quedará tambien mas ó menos limitado, dando lugar á diferentes grados de *expansion*.

La *corredera* de Stephenson se ve aplicada, no solo en las locomotoras donde es casi exclusiva, sino tambien en algunas máquinas fijas, y en las destinadas á la navegacion.

A pesar de haber sido nuestro objeto referir las lige-

ras indicaciones que hemos hecho sobre las locomotoras, tan solo á la máquina propiamente dicha, añadiremos que el tubo *g*, fig. 6.^a, que se encuentra dentro de la caldera, corresponde al de la *toma* de vapor, introduciéndose este por el extremo *h*, que á voluntad queda abierto ó cerrado mediante un registro fácil de comprender y que el maquinista hace funcionar valiéndose de la manivela *i*.

§ 144. **Locomóviles.**—Estas máquinas en general, son de escasa fuerza y trabajan á alta ó mediana presión, con expansión y sin condensación.

Por la forma son parecidas á las locomotoras, y como ellas necesitan ocupar el menor volumen posible.

No destinadas á trasportarse, la colocación y disposición de la máquina propiamente dicha, difieren de como lo están en aquellas.

La parte motora se reduce á una máquina horizontal *A*, semejante á la ya explicada de este sistema, y que trasmite su movimiento al árbol *B*.

Las ruedas y la limonera sirven para trasportarlas de un lugar á otro.

Sus condiciones esenciales son: sencillez, poco peso y facilidad de manejo y entretenimiento.

§ 145. **Máquinas marinas.**—Las máquinas destinadas á la navegación siempre están apareadas: su número es variable, generalmente no escede de dos ó de cuatro.

Se distinguen por tener mas reunidos todos los órganos, menos amplitud y mas rapidez en los movimientos, que en las máquinas fijas.

TABLA

**que contiene los principales datos numéricos relativos
a los vapores de agua saturados.**

Presio- nes en atmósfe- ras de 0, ^m 76.	Tempera- turas en grados centígra- dos.	$P = 219,349 \frac{F}{272,48 + t}$	$V = 0,00456 \frac{272,48 + t}{F}$	$C = t + 0,00002 \cdot t^2 + 0,0000003 \cdot t^3$	$C = 606,5 + 0,505 \cdot t$	$P = \frac{606,5 + 0,303 \cdot T - t^2}{t}$	$v = 4,559 \frac{272,48 + t}{F}$
		Peso en ki- lógramos de un me- tro cúbico.	Volúmen en metros cú- bicos cor- respondien- te a un ki- lógramo.	Número de calorías para ele- var la tem- peratura que indica la 1. ^a co- lumna, un kilóg. de agua a cero grados.	Número de calorías para tras- formar en vapor un kilógramo de agua a cero gra- dos.	N. ^o de kilóg. de agua pa- ra conden- sar 1 de va- por, bajo el supuesto de ser 12 ^o la temp. ^a de aquella y 38 ^o la de la mezcla.	Volúmen especifico ó relativo, correspon- diente a un kilógramo.
0,05	33,28	0,0339	27,88331	33,313	616,650	22,2558	27879,20
0,1	46,22	0,0688	14,53272	46,292	620,597	22,4076	14529,53
0,15	54,37	0,1007	9,93624	54,477	623,083	22,5032	9934,06
0,2	60,46	0,1318	7,59103	60,589	624,940	22,5746	7589,37
0,25	65,36	0,1623	6,16220	65,529	626,435	22,6321	6160,85
0,3	69,49	0,1924	5,19794	69,687	627,694	22,6806	5196,80
0,35	73,08	0,2222	4,50215	73,304	628,789	22,7227	4501,17
0,4	76,25	0,2516	3,97532	76,499	629,756	22,7599	3974,65
0,45	79,11	0,2807	3,56278	79,384	630,629	22,7934	3562,00
0,5	81,71	0,3096	3,23021	82,007	631,422	22,8239	3229,50
0,55	84,10	0,3383	2,95637	84,420	632,151	22,8519	2955,72
0,6	86,32	0,3668	2,72688	86,662	632,828	22,8780	2726,28
0,65	88,39	0,3951	2,53164	88,753	633,459	22,9023	2531,09
0,7	90,33	0,4232	2,36345	90,714	634,031	22,9250	2362,93
0,75	92,15	0,4512	2,21695	92,555	634,606	22,9464	2216,46

Presio- nes en atmósfe- ras de 0, ^m 76.	Tempera- turas en grados centígra- - Jos.	Peso en ki- lógramos de un me- tro cúbico.	Volúmen en metros cú- bicos cor- respondien- te á un ki- lógramo.	Número de calorías para ele- var la tem- peratura que indica la 1.ª co- lumna, un kilóg. de agua á cero grados.	Número de calorías para tras- formar en vapor un kilógramo de agua á cero gra- dos.	N.º de kilóg de agua pa- ra conden- sar 1 de va- por, bajo el supuesto de ser 12º la temp.ª de aquella y 38º la de la mezcla.	Volúmen especifico ó relativo, correspon- diente á un kilógra mo.
0,8	93,88	0,4790	2,08825	94,304	635,133	22,9667	2087,79
0,85	95,52	0,5066	1,97421	95,964	635,634	22,9839	1973,78
0,9	97,08	0,5342	1,87244	97,543	636,109	23,0042	1872,03
0,95	98,57	0,5616	1,78104	99,052	636,564	23,0217	1780,65
1	100	0,5889	1,69854	100,500	637,000	23,0385	1698,14
1,1	102,69	0,6431	1,55525	103,226	637,820	23,0700	1554,90
1,2	105,18	0,6970	1,43511	105,750	638,580	23,0992	1434,79
1,3	107,50	0,7504	1,33285	108,104	639,288	23,1264	1332,56
1,4	109,68	0,8036	1,24475	110,316	639,952	23,1520	1244,48
1,5	111,74	0,8563	1,16803	112,408	640,581	23,1762	1167,77
1,6	113,69	0,9088	1,10058	114,389	641,175	23,1991	1100,34
1,7	115,54	0,9610	1,04081	116,270	641,740	23,2208	1040,58
1,8	117,30	1,0130	0,98744	118,059	642,277	23,2414	987,23
1,9	118,99	1,0646	0,93953	119,779	642,792	23,2612	939,32
2	120,60	1,1160	0,89622	121,417	643,283	23,2801	896,03
2,1	122,15	1,1672	0,85691	122,995	643,756	23,2983	856,72
2,2	123,64	1,2182	0,82105	124,518	644,210	23,3158	820,87
2,3	125,08	1,2690	0,78821	125,980	644,650	23,3327	788,03
2,4	126,46	1,3196	0,75799	127,387	645,070	23,3489	757,82
2,5	127,80	1,3700	0,73011	128,753	645,480	23,3646	729,95
2,6	129,10	1,4202	0,70431	130,079	645,876	23,3798	704,16
2,7	130,35	1,4702	0,68034	131,354	646,257	23,3945	680,19
2,8	131,57	1,5200	0,65802	132,599	646,629	23,4088	657,88

Presio- nes en atmósfe- ras de 0, ^m 76.	Tempera- turas en grados centígra- dos.	Peso en ki- lógramos de un me- tro cúbico.	Volúmen en metros cú- bicos cor- respondien- te á un ki- lógramo.	Número de calorías para ele- var la tem- peratura que indica la 1. ^a co- lumna, un kilóg. de agua á cero grados.	Número de calorías para tras- formar en vapor un kilógramo de agua á cero gra- dos.	N.º de kilóg de agua pa- ra conden- sar 1 de va- por, bajo el supuesto de ser 12º la temp. ^a de aquella y 38º la de la mezcla.	Volúmen especifico ó relativo, correspon- diente á un kilógramo.
2,9	132,76	1,5697	0,63720	133,814	646,992	23,4228	637,07
3	133,91	1,6192	0,61771	134,989	647,343	23,4363	617,58
3,1	135,03	1,6686	0,59943	136,133	647,684	23,4494	599,30
3,2	136,13	1,7178	0,58227	137,257	648,020	23,4623	582,44
3,3	137,19	1,7669	0,56609	138,341	648,343	23,4747	565,97
3,4	138,23	1,8158	0,55083	139,405	648,660	23,4869	550,74
3,5	139,25	1,8646	0,53643	140,448	648,971	23,4989	536,31
3,6	140,24	1,9133	0,52278	141,461	649,273	23,5105	522,66
3,7	141,21	1,9618	0,50984	142,454	646,569	23,5219	509,73
3,8	142,16	2,0102	0,49757	143,426	649,859	23,5330	497,46
3,9	143,09	2,0585	0,48590	144,378	650,142	23,5439	485,79
4	144,00	2,1067	0,47479	145,310	650,420	23,5546	474,68
4,1	144,89	2,1547	0,46420	146,222	650,691	23,5651	464,40
4,2	145,76	2,2027	0,45409	147,114	650,957	23,5753	453,99
4,3	146,62	2,2505	0,44444	147,996	651,219	23,5854	444,34
4,4	147,46	2,2983	0,43521	148,857	651,475	23,5952	435,12
4,5	148,29	2,3459	0,42638	149,708	651,728	23,6049	426,29
4,6	149,11	2,3933	0,41792	150,550	651,979	23,6146	417,83
4,7	149,90	2,4408	0,40980	151,360	652,220	23,6238	409,71
4,8	150,69	2,4881	0,40201	152,171	652,460	23,6331	401,92
4,9	151,46	2,5353	0,39452	152,961	652,695	23,6421	394,44
5	152,19	2,5826	0,38730	153,711	652,918	23,6507	387,21
5,1	153,70	2,6764	0,37373	155,262	653,379	23,6684	373,65

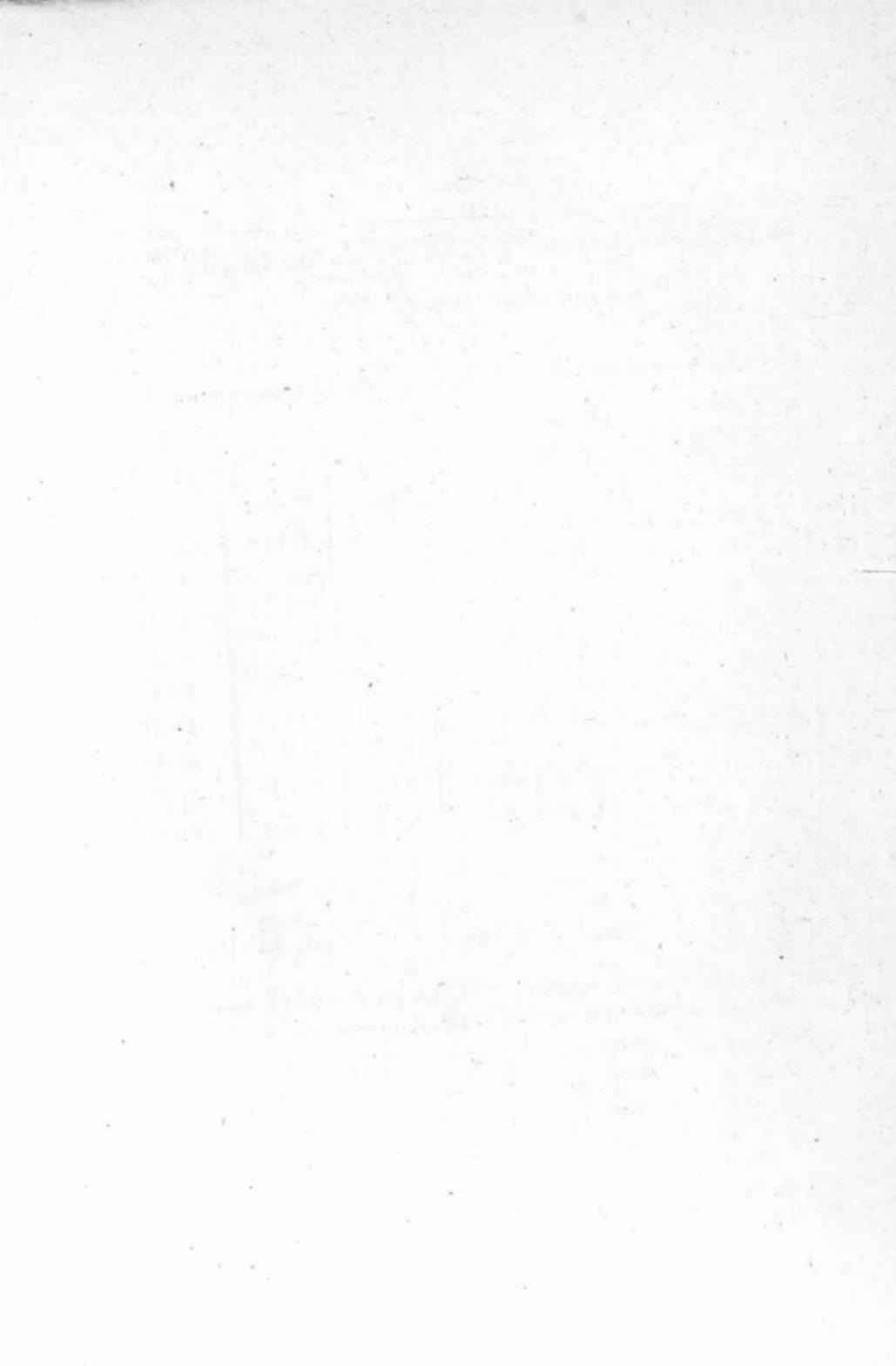
Presiones en atmósferas de 0, m ⁷⁶ .	Temperaturas en grados centígrados.	Peso en kilogramos de un metro cúbico.	Volúmen en metros cúbicos correspondiente á un kilogramo.	Número de calorías para elevar la temperatura que indica la 1. ^a columna, un kilóg. de agua á cero grados.	Número de calorías para transformar en vapor un kilogramo de agua á cero grados.	N.º de kilóg. de agua para condensar 1 de vapor, bajo el supuesto de ser 12º la temp. ^a de aquella y 38º la de la mezcla.	Volúmen específico ó relativo, correspondiente á un kilogramo.
5,4	155,14	2,7699	0,36110	156,742	653,818	23,6852	361,02
5,6	156,54	2,8632	0,34934	158,181	654,245	23,7017	349,27
5,8	157,90	2,9560	0,33837	159,580	654,657	23,7176	338,29
6	159,22	3,0486	0,32613	160,938	655,062	23,7332	328,02
6,2	160,51	3,1409	0,31816	162,266	655,456	23,7483	318,39
6,4	161,76	3,2328	0,30940	163,553	655,837	23,7630	309,33
6,6	162,98	3,3245	0,30086	164,810	656,209	23,7773	300,80
6,8	164,18	3,4159	0,29282	166,047	656,575	23,7913	292,75
7	165,35	3,5069	0,28521	167,253	656,932	23,8051	285,15
7,2	166,49	3,5975	0,27801	168,429	657,280	23,8184	277,95
7,4	167,60	3,6884	0,27118	169,574	657,618	23,8315	271,12
7,6	168,70	3,7786	0,26471	170,710	657,954	23,8444	264,65
7,8	169,77	3,8687	0,25855	171,814	658,280	23,8569	258,40
8	170,81	3,9585	0,25268	172,889	658,597	23,8691	252,62
8,2	171,84	4,0481	0,24709	173,933	658,911	23,8812	247,03
8,4	172,85	4,1374	0,24175	174,997	659,119	23,8892	241,70
8,6	173,84	4,2265	0,23665	176,020	659,421	23,9008	236,60
8,8	174,81	4,3155	0,23178	177,024	659,817	23,9160	230,59
9	175,77	4,4041	0,22711	178,017	660,110	23,9273	227,06
9,2	176,71	4,4925	0,22264	178,990	660,397	23,9383	222,59
9,4	177,63	4,5808	0,21835	179,942	660,677	23,9491	218,30
9,6	178,54	4,6688	0,21423	180,885	660,955	23,9598	214,19
9,8	179,43	4,7567	0,21028	181,807	661,226	23,9702	210,23

Presio- nes en atmósfe- ras de 0, ^m 76.	Tempera- turas en grados centígra- dos.	Peso en ki- lógramos de un me- tro cúbico.	Volúmen en metros cú- bicos cor- respondien- te á un ki- lógramo.	Número de calorías para ele- var la tem- peratura que indica la 1. ^a co- lumna, un kilóg. de agua á cero grados.	Número de calorías para tras- ormar en vapor un kilógramo de agua á cero gra- dos.	N.º de kilóg. de agua pa- ra conden- sar 1 de va- por, bajo el supuesto de ser 12 ^o la temp. ^a de aquella y 38 ^o la de la mezcla.	Volúmen específico ó relativo, correspon- diente á un kilógramo.
40	180,31	4,8444	0,20647	182,719	661,495	23,9806	206,43
40,5	182,45	5,0627	0,19757	184,938	662,147	24,0057	197,53
41	184,51	5,2798	0,18944	187,075	662,776	24,0298	189,40
41,5	186,49	5,4960	0,18199	189,131	663,379	24,0531	181,95
42	188,42	5,7109	0,17514	191,137	663,968	24,0757	175,10
42,5	190,28	5,9250	0,16881	193,071	664,535	24,0975	168,78
43	192,08	6,1381	0,16295	194,944	665,084	24,1186	162,92
43,5	193,83	6,3503	0,15751	196,766	665,618	24,1392	157,47
44	195,53	6,5616	0,15244	198,537	666,137	24,1591	152,40
44,5	197,19	6,7719	0,14770	200,268	666,643	24,1786	147,67
45	198,80	6,9815	0,14327	201,947	667,134	24,1975	143,24

NOTAS.

1.^a La estension dada á esta tabla, es mas que la suficiente para las aplicaciones que de ordinario suelen ofrecerse.

2.^a Las cifras que comprende la segunda columna se han determinado tomando por base las obtenidas directamente por Regnault en sus esperiencias.



TABLA

de los valores numéricos que toma la expresión

$$\frac{e}{e+h} + \log. \text{ hip. } \frac{e+h}{E+h} \quad (*)$$

al hacer variar la relación $\frac{e}{E}$, y en el supuesto

de ser $h=0,05 \times E$.

Valor de la relación $\frac{e}{E}$	Valor correspondien- te á la expresión $\frac{e}{e+h} + \log. \text{ hip. } \frac{e+h}{E+h}$	Valor de la relación $\frac{e}{E}$	Valor correspondien- te á la expresión $\frac{e}{e+h} + \log. \text{ hip. } \frac{e+h}{E+h}$
0,10	2,643	0,27	2,032
0,11	2,569	0,28	2,006
0,12	2,527	0,29	1,980
0,13	2,485	0,30	1,955
0,14	2,446	0,31	1,931
0,15	2,408	0,32	1,908
0,16	2,371	0,33	1,884
0,17	2,336	0,34	1,862
0,18	2,301	0,35	1,840
0,19	2,268	0,36	1,818
0,20	2,235	0,37	1,797
0,21	2,203	0,38	1,776
0,22	2,173	0,39	1,755
0,23	2,142	0,40	1,735
0,24	2,111	0,41	1,716
0,25	2,083	0,42	1,697
0,26	2,059	0,43	1,678

(*) Esta expresión es la representada por Σ , en las ecuaciones que se derivan de la teoría de Pambour.

Valor de la relacion $\frac{e}{E}$	Valor correspondien- te á la expresion $\frac{e}{e+h} + \log. \text{hip.} \frac{e+h}{E+h}$	Valor de la relacion $\frac{e}{E}$	Valor correspondien- te á la expresion $\frac{e}{e+h} + \log. \text{hip.} \frac{e+h}{E+h}$
0,44	1,660	0,70	1,269
0,45	1,642	0,71	1,257
0,46	1,624	0,72	1,245
0,47	1,606	0,73	1,233
0,48	1,589	0,74	1,221
0,49	1,572	0,75	1,209
0,50	1,555	0,76	1,197
0,51	1,539	0,77	1,186
0,52	1,523	0,78	1,175
0,53	1,507	0,79	1,164
0,54	1,491	0,80	1,152
0,55	1,476	0,81	1,141
0,56	1,461	0,82	1,131
0,57	1,445	0,83	1,120
0,58	1,431	0,84	1,109
0,59	1,417	0,85	1,099
0,60	1,402	0,86	1,088
0,61	1,388	0,87	1,078
0,62	1,374	0,88	1,067
0,63	1,361	0,89	1,057
0,64	1,347	0,90	1,047
0,65	1,334	0,91	1,037
0,66	1,321	0,92	1,027
0,67	1,308	0,93	1,017
0,68	1,295	0,94	1,007
0,69	1,282	0,95	1,000

Ya hemos manifestado lo que conviene hacer en cada caso, respecto al modo de determinar los valores de las cantidades que entran en las ecuaciones deducidas de la teoría de Pambour.

A continuacion indicamos los admitidos por él para algunas máquinas, que difieren entre sí por la disposicion y número de sus órganos, dimensiones de los cilindros, tension del vapor en la caldera y manera de efectuar este el trabajo.

Tales valores, casi todos ya conocidos, deben considerarse como aproximados, y solo aplicables á máquinas que pueden asimilarse á las indicadas por Pambour.

Máquinas fijas de alta y mediana presion, de doble efecto, sin expansion ni condensacion.

$$m = 21252000 \quad h = 0,05 \times E \quad f = \frac{450}{d} \text{ kilóg. por metro cuadrado}$$

$$n = 5020 \quad \delta = 0,14 \quad F_1 = 10355 \text{ kilóg. idem}$$

d representa el diámetro del cilindro valorado en metros.

La disposicion de la máquina que toma Pambour como tipo para este caso, es de cilindro vertical y análoga á la que se vé en la fig. 1.^a (lám. 12).

La cantidad de vapor que entra en el cilindro supone ser 0,93 de la que acuse la caldera.

Máquinas de baja presion, de doble efecto con condensacion y sin expansion.

$$m = 20000000 \quad h = 0,05 \times E \quad f = \frac{450}{d} \text{ kilóg. por metro cuadrado}$$

$$n = 1200 \quad \delta = 0,14 \quad F_1 = 2810 \text{ kilóg. idem}$$

d tiene la misma significacion que anteriormente.

La máquina de Watt á doble efecto, fig. 7.^a (lám. 11), es el tipo á que han de aplicarse estos últimos valores.

Respecto á la cantidad de vapor que entra en el cilindro admite tambien para estas máquinas la relacion 0,93.

:

Máquinas de alta ó mediana presion, con expansion y condensacion.

$$\begin{array}{lll}
 m = 20000000 & h = 0,05 \times E & f = \frac{450}{d} \text{ kilóg. por metro cuadrado} \\
 n = 1200 & \delta = 0,14 & F_1 = 879 \text{ kilóg. idem} \\
 d \dots & \text{representa en metros el diámetro del cilindro.} &
 \end{array}$$

Las máquinas á que Pambour aplica estos valores son de balanzadera y análogas á las de Watt de doble efecto: se conocen mas particularmente con la denominacion de *máquinas de doble efecto de Cornwall*.

La vaporizacion *efectiva*—asi llama siempre Pambour la correspondiente á la cantidad de vapor que ejerce accion sobre el émbolo—la supone igual á la observada en la caldera: esto es debido, segun sus propias esperiencias, á que el vapor, antes de entrar en el cilindro, lo envuelve totalmente merced á la camisa metálica que lleva.

Máquinas de alta y mediana presion, con expansion y sin condensacion.

$$\begin{array}{lll}
 m = 21272000 & \delta = 0,14 & f = \frac{450}{d} \text{ kilóg. por metro cuadrado} \\
 n = 5020 & h = 0,05 \times E & F_1 = 10533 \text{ kilóg. idem} \\
 d \dots & \text{la misma significacion que en las fórmulas anteriores.} &
 \end{array}$$

Las máquinas á que se refieren estos valores son de cilindro vertical y semejantes, en cuanto á la disposicion general, á la representada en la fig. 1.^a (lám. 12): se denominan *máquinas de Evans*.

Para la vaporizacion efectiva admite la relacion 0,93.

APÉNDICE.

§ 1. **Máquinas de Woolf.**—Como vía de ejercicio y aplicación de la teoría de *coeficientes constantes*, se podrá proponer á los alumnos encontrar en las máquinas de Woolf, la fórmula correspondiente al trabajo de un volúmen V de vapor saturado, cuya tensión sea F .

Para obtener lo que se pretende, basta recordar lo que digimos al ocuparnos de aquella teoría §§ 16 y 17.

Se supondrá para mayor generalidad, que el volúmen V experimenta una expansión en el cilindro de menor diámetro.

§ 2. **Coefficientes de correccion.**—Si en la fórmula ((2)) § 17 se introducen los valores que convienen á cada una de las máquinas comprendidas en la segunda de las clasificaciones que hicimos en el § 29, se obtendrán otras tantas expresiones que afectadas de *coeficientes de correccion*, permiten valuar el *efecto útil práctico* de aquellas: dar á conocer las mas generalmente admitidas, es el objeto de la siguiente tabla:

TABLA
de los coeficientes de correccion que han de
afectar á las fórmulas teóricas.

Fuerza en caballos.	MÁQUINAS CON CONDENSACION			MÁQUINAS SIN CONDENSACION.	
	CON EXPANSION.		SIN EXPANSION.	CON EXPANSION.	SIN EXPANSION.
	Un cilindro	Dos cilindros.			
Hasta 5	0,55	0,50	0,55	0,60	0,65
Desde 5 á 10	0,60	0,55	0,60	0,65	0,70
• 10 á 30	0,60	0,60	0,65	0,70	0,75
• 30 á 50	0,65	0,60	0,70	0,75	0,80
• 50 á 100	0,70	0,65	0,75	0,80	0,85
• 100 á 150	0,70	0,65	0,75	0,80	0,85
Desde 150 en adelante.....	0,75	0,70	0,80	0,85	0,90

§ 3. **Problemas relativos á máquinas establecidas y por establecer.**—El problema, que tenga por objeto averiguar en una máquina establecida el efecto útil de que es capaz con una marcha determinada, queda resuelto, siguiendo la teoría de los *coeficientes constantes*, con solo introducir en la fórmula teórica apropiada al caso en cuestion, los valores particulares de las cantidades que entran en ella, efectuar todas las operaciones y multiplicar el resultado final por el coeficiente numérico que indique la tabla anterior.

Para el problema inverso de calcular las dimensiones de una máquina de vapor de modo que, con una marcha

conocida, pueda hacer un trabajo dado, se tomará la fórmula que convenga afectada de su coeficiente de correccion, y se determinará el volúmen de vapor necesario para efectuar aquel como se supone conocida la velocidad y curso de este, fácilmente se deducirá el diámetro del cilindro.

§ 4. **Curso del émbolo segun la fuerza de las máquinas.**—Para formarse idea, siquiera sea aproximada, de la longitud del curso del émbolo en las máquinas segun su fuerza y servicio que prestan, basta fijarse en el siguiente estado que reasume los adoptados mas generalmente.

	<u>Metros.</u>
Máquinas cuya fuerza no llega á 10 caballos, el curso es á lo mas.....	0,70
Idem desde 10 á 30 caballos.....	1,00
Id..... 50 á 150.....	1,40
Id. que escedan de 150 caballos, el curso será al menos de.....	2,00
Locomotoras de caminos de hierro.....	{ 0,50 0,60
Máquinas de grandes dimensiones para barcos de hélice.....	{ 0,80 1,80

§ 5. **Máquinas de Woolf.**—Como via de ejercicio y aplicaciones de la teoría de Pambour, se podrá proponer tambien á los alumnos, deducir las fórmulas correspondientes al *efecto útil* en las máquinas de Woolf.

A este fin hay que encontrar:

1.º El trabajo que hace el vapor, que desde la caldera se dirige al cilindro mas pequeño: se supondrá que hay período expansivo.

2.º El trabajo moviente que el vapor trasmite al émbolo de mayor diámetro.

3.º Los trabajos resistentes que experimentan los dos émbolos.

Y 4.º El desarrollado por las resistencias, tanto útiles como pasivas: para estas últimas, se supondrá que se ejercen sobre las bases de los dos émbolos, y las primeras serán consideradas en su valor absoluto.

Una vez encontrados estos trabajos parciales, ninguna dificultad ofrecerá establecer la ecuacion de equilibrio dinámico, planteando seguidamente la que se refiere á la produccion y consumo de vapor.

Los valores que admite Pambour para las constantes de las ecuaciones correspondientes á las máquinas de Woolf son:

$$m = 20000000 \quad h' = 0,05 \times E' \quad f' = \frac{450}{d'} \text{ kilóg. por metro cuadrado}$$

$$n = 1200 \quad h = 0,05 \times E \quad f = \frac{450}{d} \text{ kilóg. idem}$$

$$\delta = 0,14 \quad F_1 = 2811 \text{ kilóg. por metro cuadrado}$$

h' , E' , f' , d' representan con relacion al cilindro de mayor diámetro, lo que h , E , f , d respecto al pequeño: estas letras tienen la significacion que les atribuimos en las otras máquinas.

§ 6. **Máquinas de vapores combinados.**—La

gran cantidad de calor que el vapor lleva consigo al dirigirse á la atmósfera ó al condensador, ha motivado sin duda la idea de utilizarlo en la vaporización de otros líquidos mas volátiles que el agua.

Las máquinas construidas bajo este principio, de tal modo que dos émbolos reciban respectivamente la acción de dos vapores distintos, uno de los cuales está producido por el calor que abandona el otro despues de haber trabajado, se denominan *máquinas de vapores combinados*.

Como no es necesario indicar, los émbolos en cuestion transmiten ambos su movimiento al árbol principal de la máquina; y las cosas se hallan dispuestas de manera que la vaporización del líquido mas volátil tenga lugar por el contacto del vapor de agua perdido con la superficie exterior de los vasos que lo contienen, así como la condensación de su vapor se obtiene enfriando tambien por el exterior, las paredes del recipiente á donde va á parar despues de haber trabajado.

La teoría de tales máquinas obedece á principios análogos á los que se han desarrollado al ocuparnos del vapor de agua: aunque bajo el punto de vista económico se han presentado preferibles á las ordinarias, no obstante las pérdidas inevitables del líquido mas volátil, no creemos se hayan generalizado hasta el punto de poder considerarlas como un verdadero motor industrial.

Otro tanto pudiera decirse respecto á las máquinas en que se ha querido emplear un cuerpo inflamable, só-

Tido, como la pólvora, ó gaseoso como el gas del alumbrado mezclado con una cierta cantidad de aire.

§ 7. **Máquinas de aire caliente.**—Obedeciendo siempre á la idea de utilizar mejor el calor invertido en vaporizar el agua, se ha intentado repetidas veces, emplear como motor el aire suficientemente calentado.

Por mas que en principio sea fácil concebir el modo de disponer las cosas para que una masa de aquel fluido trasmita los efectos de su dilatacion, al émbolo que recorra un cilindro análogo á los de las máquinas de vapor, sin embargo hasta que Ericsson logró sustraerle, despues de haber trabajado, de gran parte del calor que arastraba, no fué posible llevar aquella idea al terreno práctico, al menos en buenas condiciones; y esto, porque si se elevaba poco la temperatura, el émbolo y cilindro exigian grandes dimensiones, y si mucho, se originaba una pérdida considerable de calor, á la que habia que añadir el deterioro prematuro de ciertos órganos.

Las modificaciones por que sucesivamente ha ido pasando la primitiva máquina de Ericsson, hasta llegar á la perfeccionada por el distinguido capitán de Artillería Don Guillermo Reinlein, han sido numerosas; algunas, de suma importancia.

Grabadas y tiradas ya las láminas correspondientes á estas lecciones, y debiendo dar terminado nuestro trabajo en brevísimo plazo, nos abstenemos de dar esplicaciones acerca de ella sin tener á la vista un dibujo, que nos sirva de guia: el que desee conocerla bastante circunstanciadamente puede consultar el núm. 448 de la

Gaceta industrial correspondiente al mes de Agosto de este año.

Encargada una máquina de dos caballos para la Academia del cuerpo, los alumnos podrán hacer detenidamente el estudio de un motor llamado á generalizarse, en atencion á las ventajas que presenta comparadas con las de vapor.

A continuacion transcribimos las que reasume el capitán Reinlein en la memoria inserta en el citado número de la *Gaceta industrial*, dice así:

«Comparadas las nuevas máquinas con las de vapor, presentan las ventajas siguientes.

1.^a Gastan menos combustible, pudiendo emplear indistintamente el carbon, el coke ó la leña.

2.^a Son mucho mas sencillas, pues no tienen bombas ni aparatos de seguridad, y de aquí que sus composturas sean mas fáciles de remediar y las reparaciones menos costosas.

3.^a Su manejo está al alcance de las inteligencias mas medianas, porque despues de armada en su puesto lo único que necesita para funcionar es lumbre y saber cómo se pone en marcha y cómo se para, y esto se aprende á primera vista. Para ponerla en marcha basta empujar el volante, y para pararla abrir una llave. La supresion de una persona inteligente que esté constantemente al cuidado de la máquina, como exigen las de vapor, dá lugar á una economía considerable de jornales.

4.^a A igualdad de fuerza ocupan menos espacio, y son mucho mas económicas de instalacion.

:

5.^a No gastan agua ninguna. Basta enunciar esta ventaja para comprender toda su importancia, sobre todo en determinadas localidades en que escasea el agua ó es de mala calidad.

6.^a No ofrecen el mas ligero peligro de explosion ni incendio, lo que permite colocarlas en los centros de poblacion, y dentro de casas habitadas sin inconveniente de ninguna clase. Donde quiera que sea posible encender un brasero puede colocarse una de estas máquinas.

7.^a y última. El aire atmosférico y puro que sale de ellas á una temperatura de 250° centígrados puede utilizarse para multitud de usos, como por ejemplo, secaderos de todas clases, calentar aguas, templar habitaciones, etc., etc.»



INDICE DE MATERIAS.

Páginas.

Advertencia.	3
----------------------	---

LECCION 1.^a

Consideraciones generales sobre la formacion del vapor de agua.	5
Relacion entre la presion y temperatura en los vapores saturados.	9
Ley de Mariotte.	11
Ley de Gay-Lussac.	11
<i>Combinacion de las leyes de Mariotte y Gay-Lussac.</i>	12
Volúmen específico en funcion de la tension y temperatura.	13
<i>Volúmen específico en funcion de la tension.</i>	14
Relacion entre los volúmenes y tension de los vapores saturados.	16
Peso de un metro cúbico de vapor y cuestion inversa.	17
Calores específicos y latentes.	18
<i>Calor total correspondiente á los vapores recalentados y húmedos.</i>	20
Cantidad de agua necesaria para condensar un kilogramo de vapor.	21
Potencias ó poderes caloríficos de los combustibles.	22
Cantidad de agua vaporizada por un kilogramo de combustible.	23

LECCION 2.^a

Ideas preliminares para facilitar la inteligencia de la determinacion del trabajo mecánico del vapor de agua.	24
Teoría de los coeficientes constantes: trabajo durante el primer período.	27
<i>Trabajo durante el segundo período.</i>	29
<i>Trabajo por kilogramo de agua transformado en vapor.</i>	31
<i>Trabajo correspondiente á un kilogramo de combustible.</i>	31
Consideraciones relativas á la anterior teoría.	33
Teoría de Pambour y problemas principales que se desprenden.	37
<i>Trabajo durante el primer período.</i>	38
<i>Trabajo correspondiente al segundo período.</i>	39
<i>Valor formular de la velocidad.</i>	44
<i>Valor formular de la resistencia útil.</i>	46
<i>Valor formular de la vaporizacion.</i>	46
<i>Valor formular del efecto útil.</i>	47
Diversas expresiones del efecto útil.	47
<i>Efecto útil en caballos.</i>	48
<i>Efecto útil correspondiente á un kilogramo de combustible.</i>	48

	Páginas.
<i>Efecto útil correspondiente á un metro cúbico de agua.</i>	48
<i>Cantidad de combustible por caballo y hora.</i>	49
Dada una expansion cualquiera, determinar la velocidad mas conveniente para obtener el máximum de efecto útil con una vaporizacion conocida.	49
Determinacion de la carga ó resistencia útil correspondiente al máximum de efecto con una vaporizacion conocida.	51
Vaporizacion correspondiente á la velocidad y carga de máximum efecto útil.	52
Efecto útil máxime con una expansion determinada.	52
Expansion que produce el máximum absoluto de efecto útil.	53
<i>Máxima carga que la máquina puede poner en movimiento.</i>	55
Clasificacion de las máquinas de vapor.	56
Bondad de las máquinas de vapor considerada con relacion al efecto útil.	59
<i>Tabla del trabajo en kilográmetros, correspondiente á un metro cúbico de agua vaporizada á diferentes tensiones.</i>	60

LECCIÓN 3.^a

Partes que comprende una máquina de vapor, considerada bajo el punto de vista mas lato.	65
Generadores; partes principales que los constituyen.	66
Ligera clasificacion de las hullas.	67
Medios empleados para producir una combustion completa.	68
<i>Volúmen de aire necesario para la combustion de un kilogramo de hulla.</i>	69
<i>Hogar.</i>	70
<i>Consideraciones que fijan la magnitud del hogar propiamente dicho.</i>	70
<i>Consideraciones que fijan la magnitud de las parrillas.</i>	70
<i>Consideraciones que fijan las dimensiones del altar, puertas de carga y cenicero.</i>	72
<i>Modo de alimentar las parrillas.</i>	73
Dimensiones y datos relativos á los hogares ordinarios.	73
Hogares fumivoros.	75
<i>Hogares fumivoros, en que los humos pasan sobre el combustible encendido ó al través de él.</i>	75
<i>Hogares apareados.</i>	76
<i>Fumivoridad obtenida por una corriente de aire.</i>	78
<i>Fumivoridad obtenida por alimentacion continua.—Sistema de Boulton y Watt.</i>	79
<i>Sistema de Jucke, perfeccionado por Tailfer.</i>	79
Chimeneas y conductos.	80

	Páginas.
<i>Determinacion de la velocidad de los gases en las chimeneas.</i>	80
<i>Tiro de una chimenea y valor máximo de él.</i>	83
<i>Cálculo de las dimensiones de una chimenea.</i>	85
<i>Conductos.</i>	89
<i>Dimensiones de los conductos.</i>	90
<i>Chimeneas descendentes.</i>	93
<i>Chimeneas con tiro forzado.</i>	93
 LECCION 4. ^a —	
Calderas; generalidades.	95
Superficie de caldeo.	96
Volúmen de agua	101
Cámara de vapor.	102
Ligera descripción de algunas calderas.	103
<i>Calderas de Hogar exterior.—Caldera de Watt.</i>	104
<i>Calderas cilíndricas de un solo cuerpo.</i>	106
<i>Calderas cilíndricas con tubos hervidores.</i>	108
<i>Calderas cilíndricas con tubos calentadores.</i>	110
<i>Calderas de hogar interior.</i>	112
<i>Calderas tubulares.</i>	115
<i>Calderas correspondientes á las locomóviles y antiguas máquinas marinas.</i>	121
<i>Calderas con tubos interiores y hogar exterior.</i>	121
<i>Revestimiento de las calderas.</i>	122
<i>Espesor y diámetro máximo de las calderas.</i>	122
<i>Partes accesorias de las calderas.</i>	124
<i>Aparatos de alimentacion.</i>	124
<i>Inyector Giffard.</i>	127
Aparatos de observacion:	130
<i>Tubo indicador de cristal.</i>	130
<i>Llaves de nivel.</i>	131
<i>Silbato de aviso ó alarma.</i>	132
<i>Manómetros.</i>	132
<i>Manómetro á aire libre con tubo de cristal.</i>	133
<i>Id. id. con tubo metálico.</i>	133
<i>Id. id. de Desbordes.</i>	134
<i>Manómetro á aire comprimido y manómetro de Richard.</i>	135
<i>Manómetros metálicos.</i>	136
<i>Manómetro de Bourdon.</i>	136
<i>Manómetro metálico de Desbordes.</i>	137
Aparatos de seguridad.	138
<i>Válvula de seguridad.</i>	138

	Páginas.
<i>Redondelas y tapones fusibles..</i>	140
<i>Válvula inversa.</i>	140
Piezas relativas á las comunicaciones..	141
<i>Caja de estopas.</i>	141
<i>Llave cónica.</i>	141
<i>Agujero ó entrada del hombre.</i>	142
<i>Colocacion en los generadores de los aparatos dados á conocer anteriormente.</i>	142
Pruebas á que se someten las calderas..	142
Principales causas que producen las explosiones en las calderas.—Incrustaciones; medios que se oponen á su formacion.	143

LECCION 5.^a

Máquinas de vapor propiamente dichas.	147
Cilindro de vapor..	148
Embolos ó pistones correspondientes á las máquinas de vapor.	149
<i>Embolos cubiertos de cañamo.</i>	150
<i>Embolos metálicos.</i>	151
Aparatos de distribucion..	153
<i>Llaves tronco-cónicas.</i>	153
<i>Distribucion por correderas.</i>	154
<i>Distribucion por expansion, por una sola corredera.</i>	156
<i>Distribuidor de Watt.</i>	159
<i>Distribuidor de Watt modificado.</i>	161
<i>Distribuidor compuesto de dos sectores.</i>	161
<i>Distribuidor compuesto de dos pistones.</i>	162
<i>Aparatos de distribucion para expansion; sistemas fundados en la corredera simple.</i>	162
<i>Expansion fija por una simple corredera.</i>	163
<i>Expansion fija obtenida con dos correderas.</i>	165
<i>Expansion variable de Farcot.</i>	166
<i>Expansion variable de Meyer.</i>	168
<i>Distribucion por medio de válvulas cónicas.</i>	169
<i>Válvulas equilibradas.</i>	171
<i>Condensador.</i>	173
<i>Dimensiones del condensador y bomba de aire.</i>	175
Proporciones de algunas partes de las máquinas y datos relativos á las mismas.	178
Cuestiones relativas á máquinas establecidas.	181
<i>Determinacion de f.</i>	182
<i>Determinacion de δ.</i>	182
<i>Determinacion de la carga total de la máquina.</i>	183

	Páginas.
<i>Determinacion del efecto útil.</i>	183
<i>Cálculo del trabajo motor.</i>	184
Ligeras consideraciones sobre el establecimiento de las máquinas de vapor.	186

LECCION 6.^a

Ligera descripción de algunas máquinas de vapor.. . . .	191
Máquinas con balanzadera.	191
<i>Máquinas de Woolf.</i>	194
Máquinas verticales.	195
Máquinas horizontales.	196
Máquinas de cilindro oscilante.. . . .	197
Máquinas rotativas.	198
Locomotoras.. . . .	199
Locomóviles.. . . .	202
Máquinas marinas.	202
Tabla que contiene los principales datos numéricos relativos á los vapores de agua saturados.	203
Tabla de los valores que toma la expresión Σ , etc.	209
Aplicaciones á diferentes máquinas.	211

APÉNDICE.

Máquinas de Woolf.. . . .	213 y 215
Coefficientes de correccion.	213
Problemas relativos á máquinas establecidas y por establecer.	214
Curso del émbolo segun la fuerza de las máquinas.	215
Máquinas de vapores combinados.	216
Máquinas de aire caliente.	218
Índice de materias.. . . .	224

Las desfavorables circunstancias en que han sido impresas estas lecciones, han contribuido á aumentar el número de inexactitudes que puedan observarse.

LIGERAS ACLARACIONES.

1.^a En la nota de la pág. 32 se dice, que en el apéndice final se encuentran detalladas todas las fórmulas mas usuales que, derivándose de la teoría de *coeficientes constantes*, pertenecen á las distintas máquinas de vapor.

No habiendo incluido tales fórmulas, como via de ejercicio las deducirá el discípulo.

2.^a En la nota de la pág. 61 se dice tambien, que los cálculos de cuantas tablas tiene el testo, han sido ejecutados por los alumnos de la Academia.

La correspondiente á los valores de Σ es debida á Pambour, y la escasez de tiempo no ha permitido rectificarla.

3.^a Todas las figuras que se citan en las pág. 76 á 79 pertenecen á la lámina 2.^a

4.^a Aunque parezca ocioso el indicarlo, en la espresion

$$C = M \sqrt{\frac{T-t}{(1+\alpha T)^2}}$$

de la pág. 84, M representa el factor $mS \sqrt{2gh\alpha} \times 1,5$.

ERRATAS.

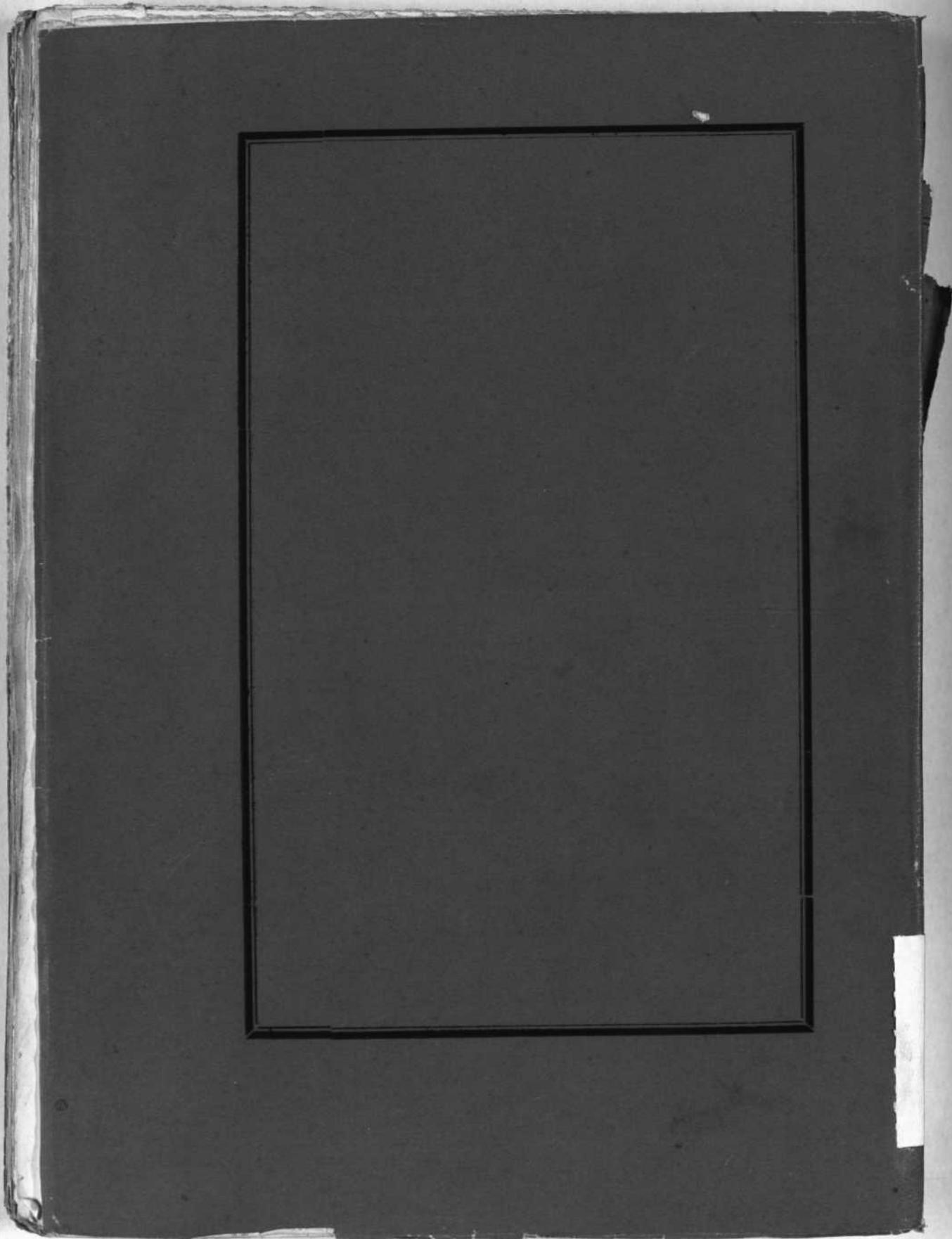
Págs.	Líneas.	Dice.	Debe decir.
20	8	un fluido	en fluido
55	17	SQ'v'	SQ'
71	1	parrilla	calJera
71	14	sola	solo
80	21	que corre	que recorre
81	9	que recore	que recorre
87	12	ella establece	ella supone
87	23	y por S' la id. siendo aquella h	y por S' la correspondiente al valor h
98	2	las designan	las denominan
100	2	una produccion	á una produccion
107	13	por las	á las
108	5 y 6	Las fig. 12 y 13 lám. 3. ^a	Las fig. 12 y 13 (lám. 3. ^a)
113	19	espresada	espresada por
118	10.	de que la forma	de la forma
137	Párrafo	35	95
140	20 y 21	deja paso al agua;	y dejando paso al agua,
150	4	Consta	Constan
153	12	al	el
155	22	que de la marcha	que la marcha
155	26	fig. 1. ^a (lám. 9. ^a)	fig. 1. ^a (lám. 9. ^a)
155	30	idem	idem
157	28	idem	idem
158	2	a	la
171	27	en la fig. 6. ^a	la fig. 6. ^a
172	17	pronunciar	proporcionar
175	19	Será	será
176	11	U'	V'
175	12	U' = etc.	V' = etc.
185	27	A, la línea	A la línea
193	13	depósito H	depósito G
202	Epígrafe de la 4. ^a columna.	elear la temperatura	elear á la temperatura
215	4	aquel	aquel;
215	5	curso de este	curso del piston
225	18	Aplicaciones á diferentes máquinas	Valores de las cantidades m, n, h, δ , f, F, en diferentes máquinas

FIN.



ERRATAS.

Págs.	Lineas	Que	debe
30	3	en Apón	en Baldo
30	10	50'0	50'
34	1	partida	cabecera
71	14	vota	lote
85	24	que entre	que aparece
86	1	que entre	que aparece
87	14	de la partida	del terreno
87	23	5 por 100 de	5 por 100 de
95	3	de la partida	de la partida
105	3	que pertenece	que pertenece
107	12	por lo	de las
108	3 y 4	de la partida	de la partida
113	19	de la partida	de la partida
118	17	de la partida	de la partida
127	Partida	de	de
140	21 y 22	de la partida	de la partida
150	1	de la	de la
150	10	de la	de la
150	14	de la	de la
150	16	de la	de la
150	17	de la	de la
150	18	de la	de la
150	19	de la	de la
150	20	de la	de la
150	21	de la	de la
150	22	de la	de la
150	23	de la	de la
150	24	de la	de la
150	25	de la	de la
150	26	de la	de la
150	27	de la	de la
150	28	de la	de la
150	29	de la	de la
150	30	de la	de la
150	31	de la	de la
150	32	de la	de la
150	33	de la	de la
150	34	de la	de la
150	35	de la	de la
150	36	de la	de la
150	37	de la	de la
150	38	de la	de la
150	39	de la	de la
150	40	de la	de la
150	41	de la	de la
150	42	de la	de la
150	43	de la	de la
150	44	de la	de la
150	45	de la	de la
150	46	de la	de la
150	47	de la	de la
150	48	de la	de la
150	49	de la	de la
150	50	de la	de la



A. PEREZ.

MAQUINAS
DE
VAPORES.

SEGOVIA.

G 40126