

El rendimiento de estos motores, cuando son de buena construcción, varía entre 40 y 50 por 100.

Calderas de vapor

334. Motores de vapor. — Sólo estudiaremos la máquina de vapor desde el punto de vista de los cálculos elementales por medio de los cuales podemos formarnos exacta idea de su valor como motor. La descripción de las diversas piezas corresponde a los cursos de Tecnología.

En los motores de vapor hay que considerar:

1.º El *hogar*, los *conductos* para el paso de la llama y del humo, y la *chimenea*; cuyo conjunto constituye el *aparato de combustión*.

2.º La *caldera* o *generador*, que contiene el agua y el vapor. Es un almacén de vapor.

3.º Los *aparatos de seguridad*, órganos muy importantes que previenen los accidentes.

4.º Los *aparatos de alimentación*.

335. Aparato de combustión. — Se compone:

1.º Del hogar, subdividido a su vez en *reja* o *emparrillado*, *cenicero* y cámara de combustión.

La reja recibe el combustible en forma de hulla, de coque, de madera, de serrín, de cortezas o de turba.

Estos cuerpos contienen una energía latente que los fenómenos químicos de la combustión convierten en calor, que es lo que nosotros aprovechamos. Los conductos de la llama obligan a ésta a calentar convenientemente la caldera, y la chimenea determina el *tiro*.

2.º Los conductos de la llama. Cuanto más largos

y anchos sean, tanto mayor será la superficie de la caldera que se hallará en contacto con aquélla, es decir, la *superficie de caldeo* o *de calefacción*.

3.º La chimenea, que sirve para producir el tiro

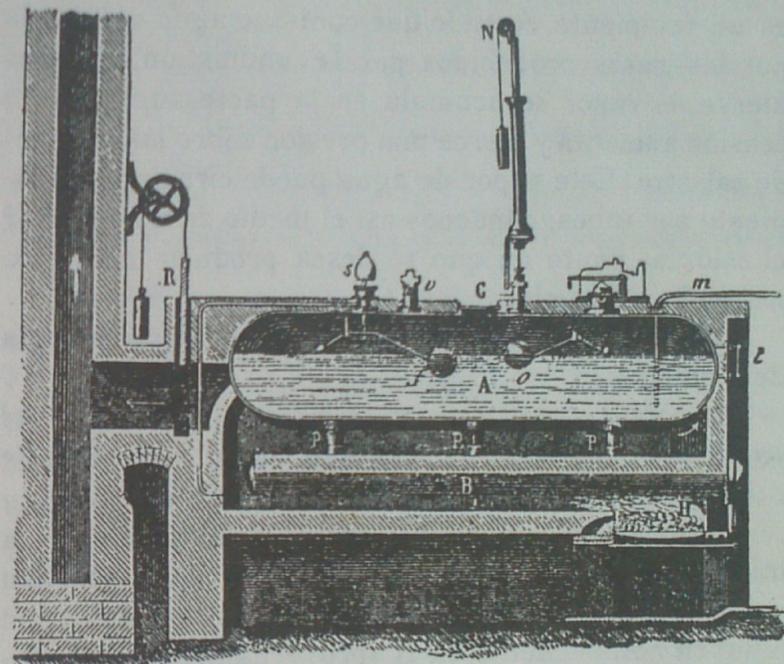


Fig. 149

necesario para la combustión. La sección menor de una chimenea ha de ser, por lo menos, igual a $\frac{1}{4}$ de la superficie del emparrillado cuando se quema hulla, o al $\frac{1}{6}$ para la combustión de cuerpos leñosos.

La altura es igual a 25 veces el máximo diámetro interior de la chimenea, y cuando menos ha de tener 16 metros. Para 10 metros de altura hay que forzar algo la sección.

El calor arrastrado hacia la chimenea, calor que

sirve para producir el tiro, es próximamente igual al $\frac{1}{4}$ del calor total desarrollado por el combustible.

336. Caldera o generador.—Una caldera de vapor es un recipiente cerrado que contiene agua calentada por los gases producidos por la combustión. El agua hierve, el vapor se acumula en la parte superior, su tensión aumenta y ejerce una presión sobre las paredes de palastro. Este vapor de agua puede circular rápidamente por tubos, dándonos así el medio de transportar el calor al punto en que se desea producir un efecto mecánico o trabajo.

En la caldera se tiene, pues, un almacén de energía de fácil empleo.

La potencia del generador varía con el peso del vapor que cada metro cuadrado de su superficie de calefacción puede proporcionar en una hora.

No todas las calderas utilizan el combustible de la misma manera; la perfección del hogar, la disposición interior del generador y su estado de conservación influyen notablemente en el aprovechamiento del combustible. La práctica demuestra que el valor máximo de este aprovechamiento no puede pasar de 0,75 a tiro natural y de 0,85 a tiro forzado. En cambio, puede estar muy por debajo de estas cifras.

Además, como los combustibles, a igualdad de peso, no proporcionan la misma cantidad de calor, la superficie de calefacción ha de variar con la naturaleza del combustible.

El siguiente cuadro da, para un kilogramo de combustible, el peso del vapor producido, y la superficie de calefacción, en metros cuadrados, por caballo de vapor.

Naturaleza del combustible	Peso de un metro cúbico de combustible	Vapor producido en kilogramos	Superficie de calefacción en m. ² por caballo	Superficie de emparrillado por cada metro de superficie de calefacción
Madera seca. .	250—450	2,5—3,5	1,2—1,8	0,045—0,06
Turba con 20 p. 100 de agua .	500—600	1,5—2	1,8—2	0,06 —0,03
Hulla, calidad media . . .	760—850	6—7	1—1,5	0,03 —0,05
Coke con 15 por 100 de cenizas.	400—600	6—7	1—1,5	0,036—0,04

El rendimiento varía entre 40 y 85 por 100. Cuando alcanza a 65 por 100, el resultado es satisfactorio, y 7 kilogramos de vapor por kilogramo de hulla son ya un buen rendimiento. Para conseguirlo son precisos una buena instalación, un buen combustible y un fogonero inteligente, hábil, cuidadoso e instruído.

337. Comparación de las calderas de vapor. — Cuadro núm. 1.

CLASE DE LA CALDERA	Peso de agua evaporada por m. ² y por hora		Peso de vapor producido por 1 kilogramo de combustible	
	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
Caldera ordinaria con 1, 2, 3 hervideros	15 a 30		5,00 a 5,30	
Caldera ordinaria con 1, 2, 3 hervideros	10 a 12		5,50 a 5,90	
Caldera con recalentadores laterales (Farcot)	18 a 15		6,40 a 6,70	
Caldera con 2 hervideros y 1 ó 2 recalentadores	20 a 15		5,70 a 7,00	
Caldera de hogar interior (Cornwall)	12 a 10		7,50 a 8,00	
Caldera tubular sin chorro de vapor.	15 a 10		7,50 a 8,00	
Locomotora con chorro de vapor.	40 a 35		6,50 a 7,50	
Caldera de hogar interior	15 a 12		7,50 a 8,50	
Calderas marinas	25 a 20		6,50 a 7,50	
Caldera de hogar interior con recalentador tubular muy grande	12 a 10		8,50 a 9,90	

338. Evaluación aproximada de las pérdidas de calor en el empleo de las calderas. — Cuadro núm. 2.

Calor utilizado para la producción del vapor.	0,40 a 0,80
Tiro o escape de los productos de la combustión.	0,27 a 0,08
Las partículas de carbón que caen en el cenicero se llevan	0,06 a 0,03
Pérdida por combustión incompleta, muy variable	0,22 a 0,07
Pérdida por enfriamiento y escapes	0,05 a 0,02
Calor total empleado.	1,00 1,00

Este cuadro nos permite hacernos cargo de cómo se distribuye el calor y de las circunstancias en que principalmente conviene fijar la atención.

Las pérdidas más importantes provienen del tiro y de la mala combustión, pudiéndose elevar su suma

a 0,49. El fogonero puede, si es hábil, reducir estas pérdidas a un mínimo, haciendo que la combustión sea todo lo completa posible y regulando el tiro con cuidado. Un buen fogonero es, pues, un excelente auxiliar en toda fábrica, y si es realmente hábil gana con exceso su jornal, por crecido que éste sea.

339. Temperatura, peso, volumen y velocidad del vapor a diferentes presiones, según Zeuner. — Cuadro núm. 3.

Presión en atmósferas	Presión en kilogramos por cm. ²	Temperatura en grados	Volumen, en litros, de 1 kilog. de vapor	Peso del metro cúbico de vapor en kilogramos	Velocidad del vapor en la atmósfera, en metros
0,5	0,516	81,7	3170,50	0,315	•
0,75	0,776	92,0	2445,15	0,453	•
1	1,0334	100,0	1649,40	0,606	•
2	2,0668	120,6	858,80	1,163	427
3	3,1002	133,9	586,40	1,702	502
4	4,1336	144,0	447,40	2,230	537
5	5,1670	152,2	362,60	2,750	562
6	6,2004	159,2	305,40	3,263	•
7	7,2338	165,3	264,20	3,771	•
8	8,2672	170,8	232,90	4,274	•
9	9,3046	175,8	208,50	4,774	•
10	10,3300	180,3	188,70	5,270	•
11	11,3674	184,5	172,50	5,763	•
12	12,4008	188,4	158,90	6,254	•
13	13,4342	192,1	147,30	6,742	•
14	14,4766	195,5	137,30	7,228	•

El vapor a 1,01 atmósferas se escapa en el aire con una velocidad de 58 metros; a 1,5 su velocidad es de 334 metros.

Según la calidad del combustible y el estado de la caldera, la vaporización oscila entre 5 y 9 kilogramos por kilogramo de hulla y entre 2Kg5 y 4Kg5 por kilogramo de combustibles leñosos.

Del mismo modo, según sea el sistema de la máquina de vapor, el peso de vapor necesario para la producción de un caballo varía como se indica en el siguiente cuadro:

Peso de vapor y superficie de emparrillado por caballo-vapor	MÁQUINA DE VAPOR		
	Corliss o Sulzer	de expansión ordinaria	a plena presión
Peso de vapor necesario por caballo-vapor efectivo y por hora	11 Kg.	18 Kg.	30 Kg.
Superficie de parrilla, en m. ² por caballo-vapor efectivo.		1,80	2,20

340. Peso de una caldera. — Se puede obtener aproximadamente el peso de una caldera calculando, por los procedimientos que la Geometría enseña, la *superficie* del palastro en metros cuadrados. Se multiplica esta superficie por la densidad 7,8 del hierro y por el número de milímetros que representa el grueso del palastro. El resultado es el peso de toda la superficie visible de la caldera en kilogramos.

Es fácil comprender esta manera de calcular el peso, considerando que una hoja de palastro de un milímetro de espesor y de un metro cuadrado de superficie tiene un volumen de un decímetro cúbico, y por tanto un peso de 7Kg800.

Al peso así calculado hay que añadirle un 15 por 100 por los remaches, robladuras, etc.

Además, para la instalación de un generador hay que tener en cuenta el peso de las piezas de fundición, de las armaduras y de todas las piezas accesorias.

PROBLEMA. — ¿Cuál es el peso de una caldera de palastro de 10 milímetros de espesor, siendo la longitud

total 9m70, contados desde los extremos de los dos casquetes hemisféricos terminales, y el diámetro 1m20?

Esta caldera se compone de una superficie cilíndrica cuya longitud L es

$$L = 9m70 - 1m20 = 8m50$$

y de dos casquetes hemisféricos de 0m60 de radio. Estos casquetes completan una esfera de radio $R=0m60$, y por consiguiente la superficie S total de la caldera será:

$$S = \pi \times D \times L + 4\pi R^2.$$

Pero

$$D = 1m20; \quad L = 8m50; \quad R = 0,60.$$

Tendremos, por consiguiente:

$$S = \pi \times 1,2 \times 8,5 + 4\pi \times 0,60^2,$$

y efectuando los cálculos,

$$S = 36,56 \text{ metros cuadrados.}$$

El peso P de esta caldera de palastro será, tomando 7,8 como densidad del hierro,

$$P = 10 \times 36,56 \times 7,8,$$

o

$$P = 2851 \text{ kilogramos.}$$

341. Calderas tubulares. — Las calderas tubulares, inventadas por Marcos Seguin en 1829, presentan una gran superficie de caldeo en reducido volumen, lo cual permite una vaporización considerable en poco tiempo. Estos generadores, que hoy se emplean en grande escala en la industria, son sobre todo convenientes para las locomotoras y para las calderas de los buques.

Consideremos una caldera tubular provista de 100 tubos de 2 metros de longitud y 0^m04 de diámetro, agrupados en un cuerpo cilíndrico de 2^m de diámetro.

Cada tubo presenta a la llama una superficie dada por

$$s = \pi d L$$

o bien

$$s = \pi \times 0,04 \times 2 = 0^{\text{m}^2} 2514.$$

La superficie total de caldeo será 100 veces mayor, pues son 100 los tubos; tendremos:

$$S = 100 \times 0^{\text{m}^2} 2514$$

o

$$S = 25,14 \text{ metros cuadrados.}$$

Si esta caldera funciona a tiro forzado (o por escape de vapor en la chimenea), cada metro cuadrado podrá producir 35^{Kg} a 40^{Kg} de vapor, y si designamos por P el peso total del vapor formado, resultará:

$$P = 40 \times 25,14;$$

$$P = 1005 \text{ kilogramos de vapor.}$$

Según las tablas que anteceden, si esta caldera alimenta una máquina de expansión ordinaria, el consumo por caballo y hora será de 18 kilogramos, de suerte que la potencia C , en caballos de vapor, de la máquina que podrá ser alimentada por esta caldera será:

$$C = \frac{1005}{18} = 55 \text{ caballos.}$$

342. Válvula de seguridad.—Conforme mandan los reglamentos, cada caldera va provista de dos válvulas de seguridad. La sección de cada válvula debe ser suficiente para dejar escapar todo el vapor que el generador puede producir.

El diámetro D de las válvulas se calcula por medio de la fórmula adoptada por la «Administration des Ponts et Chaussées»:

$$D = 2,6 \sqrt[2]{\frac{S}{n - 0,412}},$$

en la cual S representa la superficie de caldeo en metros cuadrados, n la presión máxima de vapor en atmósferas y D el diámetro interior en centímetros.

PROBLEMA. — ¿Qué diámetro debe tener la válvula de seguridad de una caldera que presenta ocho metros cuadrados de superficie de calefacción, y debiendo funcionar a siete atmósferas?

La fórmula anterior dará:

$$D = 2,6 \sqrt[2]{\frac{8}{7 - 0,412}}$$

y

$$D = 2^{\text{cm}} 86.$$

La superficie será:

$$s = \pi \frac{D^2}{4} = \frac{\pi \times 2,86^2}{4} = 6,4242 \text{ cm.}^2$$

Según las tablas que anteceden, la presión de siete atmósferas corresponde a 7^{Kg}2338; por consiguiente, la válvula recibirá un esfuerzo p cuyo valor será, en kilogramos:

$$p = 7,2338 \times 6,4242,$$

y, efectuando los cálculos,

$$p = 46 \text{ Kg } 470.$$

La válvula está retenida en su sitio por un peso colgado al extremo de una palanca inter-resistente,

articulada por el otro extremo en dos cojinetes que forman parte del soporte de la válvula (fig. 150).

Los momentos de la carga de la palanca y de la resistencia p , con respecto al punto de articulación, han de ser iguales para que haya equilibrio.

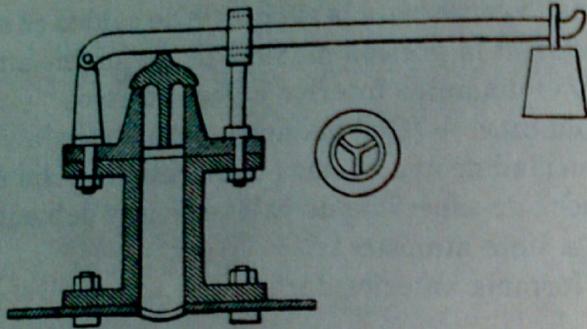


Fig. 150

Despreciando el peso de la palanca misma, y suponiendo que el peso que cuelga de ella es de 5 kilogramos y que la distancia desde la articulación hasta el punto de aplicación de la válvula sea de 4 centímetros, es fácil calcular la longitud L de la palanca. Igualando dichos momentos, resulta:

$$46,47 \times 4 = 5 \times L;$$

de donde:

$$L = \frac{46,47 \times 4}{5}$$

o bien

$$L = 37\text{cm}15.$$

Análogamente, conociendo la longitud L de la palanca, podría calcularse el peso con que hay que lastrarla.

La válvula debe apoyarse en su asiento por una superficie anular, cuya anchura no debe exceder de 2 milímetros.

343. Inyector de Giffard.—A medida que se gasta vapor para el funcionamiento de la máquina, va disminuyendo la cantidad de agua en la caldera.

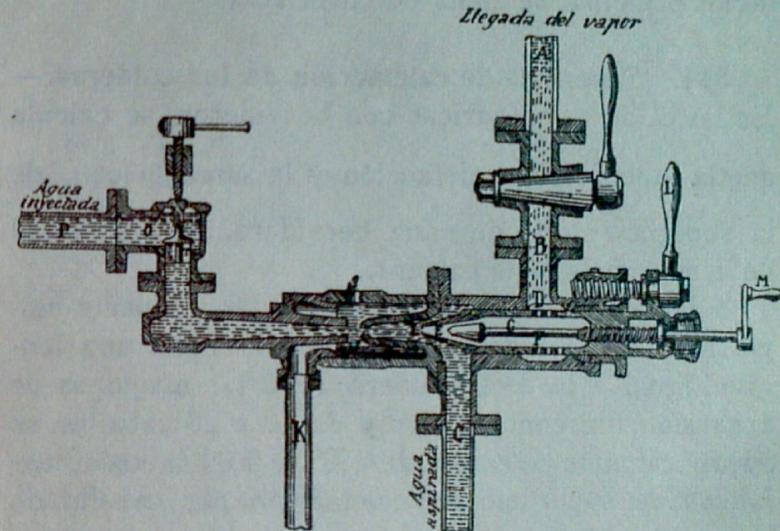


Fig. 151

Puede reemplazarse el líquido con ayuda de bombas, que lo suministran, ya con intermitencias, ya de una manera casi continua.

Giffard inventó en 1859 un aparato (entrevisto ya por Bourdon, el inventor de los manómetros metálicos), que permite inyectar agua en la caldera por medio del mismo vapor, a pesar de la presión (fig. 151).

El vapor, que se toma de la misma caldera, pasa por un tubo afilado I , cuyo eje de figura es el mismo que el de otro tubo también afilado, que envuelve al primero. El espacio que queda entre ambos tubos está en comunicación con un depósito de agua.

Al salir el vapor por la punta del tubo I , produce una aspiración en el citado espacio, arrastrando el agua, que penetra mezclada con el vapor en el tubo P , el cual la conduce directamente a la caldera.

En este aparato la inyección del agua es debida a la potencia viva del chorro de vapor. Como la masa de éste es débil, la velocidad con que sale el vapor es el factor principal de dicha potencia viva.

344. Superficie de calefacción de las calderas. — En las calderas cilíndricas con hervideros, se calcula que la superficie de calefacción es la suma de los $\frac{2}{3}$ de la superficie total de cada hervidero, más la mitad de la superficie de la caldera.

Además, como los hervideros están en parte empotrados en la mampostería, se les asigna una longitud igual a la de la caldera. Para las máquinas de expansión, sin condensador y de 10 a 20 caballos, se puede calcular a razón de 1,25 a 1,30 metros cuadrados de superficie de calefacción por caballo de fuerza.

En las locomotoras, cada metro cuadrado de superficie de calefacción situado en la caja de fuego produce tres veces más vapor que un metro cuadrado de superficie de tubo.

Una superficie expuesta a la acción directa de un hogar muy activo da 100 a 120 kilogramos de vapor por metro cuadrado. Es éste un valor máximo con el cual no se puede contar.

Para las calderas de las fábricas se admite una producción de 12 a 15 kilogramos de vapor, de 25 a 30 kilogramos para las locomóviles, de 35 a 40 kilogramos para las locomotoras y de 20 a 25 kilogramos para las calderas de los buques.

La superficie de calefacción de las calderas puede determinarse teniendo en cuenta estas cifras.

PROBLEMAS.—1.º Una caldera con hervidero único presenta 7,65 metros de superficie de calefacción. ¿Cuál es su potencia en caballos?

Según lo que se ha dicho, llamando N a dicha potencia, se tendrá:

$$N = \frac{7,65}{1,25} = 6 \text{ caballos.}$$

Por otro procedimiento: si recordamos que cada metro cuadrado de superficie de calefacción produce por término medio 15 kilogramos de vapor y que se necesitan 18 kilogramos de vapor por hora para producir un caballo de fuerza, tendremos

$$N = \frac{7,65 \times 15}{18} = 6 \text{ caballos.}$$

2.º Una caldera tubular del tipo locomotora y de 108 metros cuadrados de superficie de calefacción alimenta una máquina de vapor. ¿A cuánto puede ascender, en caballos, la fuerza de esta máquina?

En este caso, cada metro cuadrado de superficie de calefacción produce por término medio 30 kilogramos de vapor. El peso total del vapor producido será, por consiguiente,

$$108 \times 30 = 3240 \text{ kilogramos.}$$

Si la máquina de vapor es de los tipos Corliss o Sulzer, consumirá de 11 a 12 kilogramos de vapor por caballo y hora; su potencia N en caballos podrá ser, pues:

$$N = \frac{3240}{12} = 270 \text{ caballos.}$$