

MÁQUINAS DE VAPOR.

Estas máquinas consisten generalmente en un cilindro cuyo émbolo es movido por la fuerza elástica del vapor adquiriendo un movimiento rectilíneo alternativo, que por la varilla del mismo émbolo comunica directa ó indirectamente con un eje al cual imprime un movimiento de rotacion.

Las máquinas de vapor son á simple y á doble efecto : se llaman á simple efecto aquéllas en que el vapor obra solamente para hacer subir el émbolo en cuyo caso un contrapeso le obliga á bajar ; y son de doble efecto aquéllas en que el vapor obra por ambas caras del émbolo haciéndole subir y bajar alternativamente. Las de doble efecto son las mas usadas y puede decirse las únicas que se emplean en la industria.

Las máquinas de vapor así como las calderas se clasifican tambien segun la tension á que en ellas obra el vapor. Son de *baja presion* aquellas en que la tension del vapor no llega á dos atmósferas ; son de *mediana presion* si el vapor obra á la tension de dos á cuatro atmósferas ; y se llaman de *alta presion* si la fuerza elástica del vapor es mayor de cuatro atmósferas.

Cuando el vapor obra con toda su fuerza durante cada curso ú oscilacion del émbolo, ejerce su accion sobre este con una tension sensiblemente igual y constante, y el aparato se llama *máquina sin expansion* ; pero si el vapor es producido en la caldera con una tension suficiente, se podrá hacer que obre con toda su fuerza durante una parte del curso del émbolo é interceptar luego la comunicacion : entonces el vapor introducido en el cilindro obedeciendo á su elasticidad natural obrará aun sobre el émbolo en vir-

tud de su fuerza expansiva, y se dirá que la *máquina es con expansion*. La expansion puede hacerse en el mismo cilindro ó haciendo pasar el vapor á otro de mayor diámetro.

Las máquinas dejan escapar el vapor en la atmósfera luego que ha obrado sobre el émbolo, ó le obligan á entrar en un depósito en el cual puesto en contacto con cierta cantidad de agua fria se logra su condensacion. Las máquinas que condensan el vapor se llaman *máquinas con condensacion* y las que le dejan escapar en la atmósfera, *máquinas sin condensacion*. Se concibe fácilmente que la condensacion del vapor es indispensable en las máquinas de baja presion, pues, si se dejaba escapar en la atmósfera, el émbolo hallaria siempre la resistencia de la presion atmosférica en sentido contrario, y atendido el efecto producido por el roce se utilizaria muy poca fuerza. Las máquinas sin condensacion deberán ser de mediana ó de alta presion.

Las máquinas mas generalmente empleadas se pueden clasificar como sigue :

1.º Máquinas de Watt con un solo cilindro, de baja presion, con condensacion y sin expansion.

2.º Máquinas de mediana presion, de Woolf, con condensacion y expansion mediante dos cilindros.

3.º Máquinas de alta presion con expansion en un solo cilindro, pero sin condensacion.

4.º Máquinas de alta presion sin expansion ni condensacion.

1.º *Máquinas de baja presion de Watt*. En estas máquinas el vapor obra generalmente á la tension de 1 á 1½ atmósferas, y esta poca presion del vapor aleja la probabilidad de las explosiones. Por esto se emplean regularmente en los buques, y aun en estos el vapor se produce

á veces á menos de una atmósfera. Estas máquinas solo deben emplearse en las localidades en que se puede disponer de gran cantidad de agua, pues la necesitan para la producción del vapor y para la condensación; pero su conservación es fácil y poco dispendiosa así como su marcha es muy regular y uniforme.

La experiencia demuestra que en estas máquinas se gastan de 5 á 6 kilogramos de combustible por hora y por cada caballo de fuerza, y el agua necesaria para la producción y condensación del vapor puede apreciarse próximamente á 950 litros por hora y por caballo.

2.º *Máquinas de mediana presión de Woolf.* En estas máquinas hay dos cilindros de igual altura pero de diferente diámetro. El vapor obra con toda su fuerza en el cilindro menor y luego pasa al mayor en que conservando la misma temperatura ocupa mucho mayor volumen, lo cual constituye la verdadera expansión. En estas máquinas se consumen por término medio 3 kilogramos de combustible por hora y por caballo de fuerza, y necesitan sobre 310 litros de agua en igual tiempo y por la misma fuerza.

Desde luego se observa que estas máquinas tienen ventaja sobre las de Watt tanto en el gasto de agua como en el de combustible, pero como son de construcción mas complicada están sujetas á desarrégarse con frecuencia y exigen mucho mas cuidado, resultando mas dispendiosa su conservación.

3.º *Máquinas de alta presión sin condensación y con expansión en un solo cilindro.* En estas máquinas empleadas con frecuencia en grandes establecimientos fabriles, el vapor obra con toda su fuerza durante una parte del curso del émbolo y en lo restante ejerce su acción en virtud de su fuerza elástica. El combustible que consumen es

de 4 á 5 kilogramos por hora y por caballo, y el gasto de agua consiste en la necesaria para la producción del vapor: este al salir del cilindro pasa á la atmósfera.

4.º *Máquinas de alta presión sin expansión ni condensación.* Estas máquinas son empleadas en las locomotivas por la sencillez de su construcción y por el poco espacio que ocupan. El vapor obra con toda su fuerza durante todo el curso del émbolo y pasa luego á la atmósfera, lo cual produce en sentido contrario una resistencia igual á la presión atmosférica. De modo, que si el vapor se produce á la tensión de 7 atmósferas solo se utilizan 6 en el cilindro. El agua que exigen estas máquinas es la necesaria á la alimentación, y el gasto de combustible de 6 á 7 kilogramos por hora y por caballo de fuerza.

Miembros principales de la máquina. En las máquinas de vapor hay que considerar el cilindro en que obra el vapor produciendo el movimiento rectilíneo alternativo del émbolo, la caja ó aparato de distribución del vapor, el condensador con la bomba de aire, la bomba alimentaria, la del pozo, el regulador, el volante, el balancin, las varillas de los émbolos, la cigüeña y el tirante que mueven el árbol del volante.

CILINDRO. El cilindro en que obra el vapor es el miembro mas notable y delicado de la máquina y por esto debe procederse con cuidado en la determinación de su diámetro, y del grueso ó espesor correspondiente.

Si se conoce el curso c del émbolo y el volumen v del vapor gastado en cada oscilación ó golpe simple, se hallará el diámetro del cilindro por la fórmula

$$d = \sqrt{\frac{v}{0.7854 \times c}} \text{ advirtiendo que si la máquina}$$

fuese con expansión, la cantidad c representaría la

parte del curso en que obra el vapor con toda su fuerza.

Pero como se da conocida generalmente la fuerza de la máquina en caballos y por su medio debe calcularse el diámetro del cilindro, podrá hacerse uso de las siguientes fórmulas prácticas deducidas para las circunstancias y supuestos mas comunes.

Para las máquinas de baja presion el diámetro del cilindro será, $d=0'135 \times \sqrt{c}$.

Para las máquinas de mediana presion con expansion al $\frac{1}{4}$ y condensacion, $d=0'12 \times \sqrt{c}$.

Para las mismas, pero sin condensacion y con expansion á la $\frac{1}{2}$, $d=0'11 \times \sqrt{c}$.

Para las de alta presion sin expansion ni condensacion,

$$d = \sqrt{\frac{194 \times C}{(p - 10335) v}}, \text{ siendo } d \text{ el diámetro del cilindro}$$

en metros, C el número de caballos, p la presion del vapor por metro cuadrado de superficie y v la velocidad del émbolo por segundo expresada en metros.

La *velocidad del émbolo* se separa poco de un metro por segundo cualquiera que sea el sistema de la máquina, y los ingenieros mecánicos han admitido la velocidad menor de un metro para las máquinas cuya fuerza no llega á doce caballos, y mayor para las de mayor fuerza.

El *curso del émbolo* es el espacio que corre en cada oscilacion simple, esto es cada vez que sube y cada vez que baja. Este curso le hacen llegar algunos mecánicos hasta 2'60 metros para las máquinas de 100 caballos, pero parece que para obtener el mejor resultado nunca debe pasar de dos metros.

Con la velocidad y curso del émbolo en el cilindro se puede hallar el número de golpes ú oscilaciones por minu-

to y al efecto se enlazan estas cantidades por la fórmula, $n \times c = v \times 60$ en la cual se puede calcular una de las tres cantidades cuando se conozcan las otras dos, siendo n el número de golpes ú oscilaciones simples del émbolo por minuto, c el curso en metros, y v la velocidad del mismo tambien en metros.

Ejemplos: Hallar el diámetro del émbolo ó del cilindro para una máquina de vapor de la fuerza de 25 caballos.

Aplicando las fórmulas dadas se tendrá:

Si la máquina es de baja presion con condensacion el diámetro da;

$$d = 0'135 \times \sqrt{25} = 0'135 \times 5 = 0'675 \text{ metros.}$$

Si es de mediana presion con expansion al $\frac{1}{4}$ y condensacion, el diámetro resulta;

$$d = 0'12 \times \sqrt{25} = 0'12 \times 5 = 0'60 \text{ metros.}$$

Si fuese sin condensacion y con expansion á la $\frac{1}{2}$, daría;

$$d = 0'11 \times \sqrt{25} = 0'11 \times 5 = 0'55 \text{ metros.}$$

Si es de alta presion sin expansion ni condensacion, y el vapor trabaja á 6 atmósferas siendo la velocidad del émbolo 1'15 metros se tendrá;

$$l = \sqrt{\frac{194 \times 25}{(62010 - 10335) \times 1'15}} = \sqrt{0'081614} = 0'286 \text{ m.}$$

Para obtener desde luego el diámetro del émbolo, su velocidad, el curso y el número de golpes dobles que por término medio debe dar por minuto se ha formado la siguiente tabla:

TABLA DE LOS DIÁMETROS, CURSO Y VELOCIDAD QUE DEBE CONSIDERARSE Á LOS ÉMBOLOS DE LOS CILINDROS EN LAS MÁQUINAS DE BAJA PRESION SEGUN SU FUERZA EN CABALLOS.

Fuerza en caballos.	Diámetro del émbolo, en milímetros.	Velocidad del émbolo en metros.	Curso del émbolo en metros.	Golpes dobles por minuto.	Superficie del émbolo en centímetros cuadrados.	Presion efectiva por centímetro cuadrado.
1	152	0'850	0'510	50	181'5	0'486 killóg.
2	213	0'863	0'586	44	356'5	0'488 »
4	295	0'900	0'771	35	683'5	0'488 »
6	353	0'944	0'885	32	978'7	0'487 »
8	404	0'960	0'960	30	1281'9	0'487 »
10	450	0'975	1'044	28	1590'4	0'484 »
12	490	0'990	1'142	26	1885'7	0'482 »
16	553	1'006	1'207	25	2401'8	0'496 »
20	610	1'012	1'265	24	2922'5	0'507 »
25	670	1'018	1'328	23	3525'7	0'522 »
30	726	1'035	1'411	22	4139'6	0'525 »
35	780	1'045	1'493	21	4778'4	0'526 »
40	825	1'054	1'664	19	5345'6	0'532 »
45	872	1'060	1'767	18	5972'4	0'533 »
50	915	1'064	1'877	17	6575'6	0'536 »
60	996	1'066	1'881	17	7791'3	0'542 »
70	1073	1'058	1'984	16	9042'5	0'549 »
80	1143	1'054	1'976	16	10260'8	0'554 »
90	1208	1'045	2'096	15	11461'1	0'563 »
100	1270	1'035	2'070	15	12667'7	0'557 »

Si por medio de la tabla se quiere hallar la cantidad ó el volúmen de vapor consumido en un segundo se multiplicará la superficie total del émbolo por su velocidad, y si se desea obtener el vapor gastado en cada golpe ú oscilacion simple del émbolo, se habrá de multiplicar su superficie por el curso.

Para el número de caballos que no se halle en la tabla se determinarán los términos correspondientes entre el número superior é inferior inmediatos por las fórmulas expuestas.

Para las máquinas de alta presion sin expansion ni condensacion podrá usarse de la siguiente tabla que Mr. Ar-mengaud jeune continúa en sus obras de mecánica.

TABLA DE LOS DIÁMETROS, CURSO Y VELOCIDAD DEL ÉMBOLO EN LAS MÁQUINAS DE ALTA PRESION SIN EXPANSION NI CONDENSACION Á DISTINTAS PRESIONES.

Fuerza en caballos.	Curso del émbolo en metros.	Número de golpes dobles por minuto.	Velocidad del émbolo en metros.	DIÁMETRO DEL ÉMBOLO EN CENTÍMETROS PARA LAS PRESIONES DE		
				4 atmósferas.	5 atmósferas.	6 atmósferas.
1	0'40	52'50	0'70	11'3	10	8'76
2	0'50	45	0'75	15'45	13'5	11'70
4	0'60	40	0'80	21	18	16
6	0'70	36'43	0'85	24	21	18'4
8	0'80	33'75	0'90	26'7	22'7	20
10	0'90	31'67	0'95	28'4	24'5	22
12	1'00	30	1	30	26	23
16	1'10	28'63	1'05	32'5	29	25'9
20	1'20	27'50	1'10	35	31'2	27'8
25	1'30	26'53	1'15	37'2	34	30'3
30	1'40	25'71	1'20	39'4	36	32
35	1'50	25	1'25	41'5	38	33
40	1'60	24'32	1'30	43'5	39'3	35
50	1'70	23'82	1'35	48	43	38'4
60	1'80	23'33	1'40	50'9	46	41
75	1'90	22'89	1'45	55'9	50	44'6
100	2	22'50	1'50	63'5	56	50

Si se desean los elementos para un número de caballos que no esté en la tabla se podrá tomar un término propor-

cional entre el inmediato mayor y menor á que corresponda.

Espesor ó grueso del cilindro. Para que el cilindro tenga toda la resistencia necesaria segun la fuerza elástica del va-

por se usará la fórmula
$$e = \frac{0'00748 \times p \times D^2}{D - 5'5} + 1,$$

en la cual p representa la presion del vapor en kilógramos por centímetro cuadrado, y D el diámetro del cilindro en centímetros.

Ejemplo. Calcular el espesor ó grueso que debe darse á un cilindro de hierro colado cuyo diámetro ha de ser de 60 centímetros y la tension del vapor de 4 atmósferas ó de 4'134 kilógramos por centímetro cuadrado. La fórmula dará,

$$e = \frac{0'00748 \times 4'134 \times (60)^2}{60 - 5'5} + 1 = \frac{111'32}{54'5} + 1 = 3'05 c.$$

El grueso ó espesor será de 3 centímetros próximamente.

La prueba del cilindro y de la camisa en que se envuelve en algunas máquinas, se hace sujetando uno y otra á una presion triple de aquella que deben resistir.

Distribucion del vapor. El aparato g (fig. 86) de distribucion del vapor consiste en una caja semicilíndrica h unida al cilindro, la cual recibe el vapor de la caldera por el conducto p , y por los tubos c y d pasa este á la parte superior é inferior del émbolo segun la posicion de la pieza h llamada tirador. En la posicion señalada por la figura se ve que el vapor entra libremente por d haciendo subir el émbolo, y el que ha obrado para hacer bajar á este

sale por c y pasa al condensador por la abertura a . Cuando el émbolo llega á la parte superior, el tirador h baja hasta colocarse en la posicion señalada con puntos, en cuyo caso el vapor entra libremente por c haciendo bajar el émbolo, mientras el vapor que ha obrado debajo pasa al condensador por el tubo d . El tirador es movido por medio de un escéntrico colocado en el árbol del volante, y el curso st que ha de recorrer en cada oscilacion determina las condiciones para la construccion de dicho escéntrico.

El tirador será á expansion si intercepta la comunicacion del vapor con el cilindro antes de terminar el curso del émbolo facilitando el paso del que acaba de obrar para pasar al condensador: en este caso se adelanta la condensacion. Hay tiradores á expansion fija y á expansion variable; pero el que reúne todas las condiciones que pudiesen exigirse á este mecanismo, es el tirador ó distribuidor á expansion variable del ingeniero mecánico Mr. Georges de París, pues, por medio de combinaciones sumamente sencillas y empleando solo escéntricos circulares, proporcionan la expansion del vapor en un punto cualquiera del curso del émbolo, con una precision admirable, sin necesidad de cambiar ninguna de las piezas. El mecanismo es tan sencillo que permite variar el grado de la expansion sin ninguna dificultad durante la marcha de la máquina.

CONDENSADOR. Cuando el vapor se pone en contacto del agua fria tiene lugar la condensacion, y calentándose el agua á expensas del vapor se forma una mezcla líquida que toma una temperatura media. Esta temperatura será mas ó menos elevada segun el agua que se destina á la condensacion sea en menor ó mayor cantidad.

En las máquinas con condensacion se dispone el aparato de tal modo que el vapor al salir del cilindro se pone

en contacto del agua fria y forma una mezcla líquida de 38 á 40 grados centígrados. Este descenso de temperatura que sufre el vapor á la salida del cilindro hace que el émbolo experimente en sentido contrario de su marcha una resistencia mucho menor que cuando pasa inmediatamente á la atmósfera, pues, empleando la condensacion no llega esta resistencia á 0'15 kg. por centímetro cuadrado, cuando si el vapor pasa del cilindro á la atmósfera sube á 1'0335 kg. tambien por centímetro cuadrado.

La capacidad del condensador deberá ser tal que pueda contener el agua necesaria á la condensacion, el vapor condensado y el aire contenido en estos flúidos. El agua de la condensacion y el aire que de ella se desprende, se extrae inmediatamente por medio de la bomba de aire con el fin de que por su elasticidad no impida la marcha del émbolo de esta, como sucederia indudablemente dejándolo acumular en el condensador.

La cantidad de agua necesaria para la condensacion se

hallará por la fórmula,
$$P = \frac{p(550 + T - t)}{t - t'}$$

El volúmen del vapor condensado será igual al del agua de alimentacion, ó se hallará calculando el vapor gastado en cada oscilacion del émbolo; y el veinteavo del agua del condensador será próximamente la cantidad de aire que contiene. El volúmen de este aire con el espacio necesario á su dilatacion para que no ofrezca resistencia notable al émbolo de la bomba, unido al del agua de alimentacion y de condensacion dará la capacidad mínima que debe tener el condensador.

Ejemplo: Hallar el volúmen mínimo del condensador para una máquina que gasta 0'04 kg. de vapor por ca-

da oscilacion á la temperatura de 112'4° siendo de 40° la del condensador y de 20° el agua de alimentacion.

El agua para la condensacion será,

$$P = \frac{0'04(550 + 112'4 - 40)}{40 - 20} = \frac{24'896}{20} = 1'2448 \text{ kg.}$$

El agua de alimentacion es. 0'04 kg.

El agua para la condensacion. 1'2448 »

Suma. 1'2848 »

El aire contenido en el condensador equivaldrá próximamente á 1'2848 \ 20 = 0'06424 kg. que para la elasticidad correspondiente se le dará un volúmen 24 veces mayor ó de 1'5418 litros; el cual unido á la suma anterior dará el volúmen mínimo de 2'8266 litros ó decímetros cúbicos.

Bomba de aire. La bomba de aire es una bomba aspirante destinada á extraer el agua y los gases que se reunen en el condensador; y como solo eleva el agua una vez en cada oscilacion doble debe tener un volúmen igual al del condensador, pero por razon del agua y aire que siempre deja escapar se aumenta este volúmen de una cuarta parte. El curso del émbolo de la bomba de aire se deducirá por el curso del émbolo del cilindro principal y por la distancia del eje del balancin á que se halla suspendida la varilla del mismo. El diámetro se hallará por la fórmula $0'7854 \times d^2 \times c = \frac{1}{4} v$, de que resulta

$$d = \sqrt{\frac{v}{0'6283 \times c}}$$

siendo *d* el diámetro en decímetros, *v* el volúmen del con-

densador en litros y c el curso del émbolo de la bomba tambien en decímetros.

Bomba del pozo ó de agua fria. La bomba del pozo sirve para elevar el agua fria hasta el depósito destinado á alimentar el condensador. Las dimensiones de esta bomba deben ser tales que su volúmen sea $\frac{1}{18}$ ó $\frac{1}{24}$ de la capacidad del cilindro: el curso del émbolo es regularmente la mitad del que corresponde al cilindro de vapor, y conociendo el volúmen de agua necesaria para la condensacion en cada golpe de émbolo, se hallará el diámetro correspondiente por la fórmula $0'7854 \times d^2 \times c = \frac{v}{2}$, de la cual resulta

$$d = \sqrt{\frac{v}{0'62832 \times c}}$$

Varillas de los émbolos. Las varillas de los émbolos son de hierro forjado ó de acero, y como están sujetas al esfuerzo de traccion y de compresion se hallará su diámetro segun el cálculo expuesto en la (pág. 158), para el cual resulta la siguiente regla: *multipliquese la superficie del émbolo, en centímetros cuadrados, por 1'0335 kg. y por la tension del vapor en atmósferas; dividase el producto por 100, y la raíz cuadrada del cociente será el diámetro de la varilla en centímetros.* Cuando la varilla se hace de acero, su diámetro debe tener los seis décimos del que responderia al mismo si fuese de hierro forjado.

BALANCIN. El ingeniero Mr. Tredgold que ha trabajado mucho acerca las máquinas de vapor, dice: que la longitud ó distancia g, f de las articulaciones extremas del balancin (fig. 86), se hallará multiplicando el curso del émbolo por 3'08. En el centro e le da de altura los 0'86 del diámetro del cilindro de vapor, y su espesor ó grueso le hace igual al diez y seis avo de esta misma altura. El balancin es generalmente de hierro colado.

El tirante gx (bielle) está comprendido entre cinco y seis veces la longitud xb de la cigüeña (*manivelle*) y esta es siempre igual á la mitad del curso del émbolo. La seccion transversal en z es el veinte y ocho avo de la superficie del émbolo y en las extremidades x y g el treinta y cinco avo de dicha superficie.

TRABAJO DEL VAPOR. Cuando el vapor obra con toda su fuerza sobre la superficie del émbolo se hallará el trabajo producido por él, segun lo manifestado en las (páginas 121 y 122) multiplicando la tension en kilogramos por la velocidad expresada en metros. De este principio resulta que *para obtener el trabajo correspondiente al volúmen de vapor gastado en un segundo, se multiplicará dicho volúmen expresado en metros cúbicos por su fuerza elástica en kilogramos sobre un metro cuadrado de superficie.*

Ejemplo: Hallar el trabajo producido por 350 litros de vapor á la tension de 2 atmósferas.

Se tendrá, trabajo = $0'350 \times 2 \times 10335 = 7234'5$ kilogramos.

Si este trabajo fuese producido en un segundo daria, $7234'5 \div 75 = 96'46$ caballos.

Trabajo debido á la expansion del vapor. Si cuando el vapor ha obrado con toda su fuerza durante una parte del curso del émbolo se intercepta su entrada en el cilindro, el vapor introducido en él hace correr el émbolo hasta el fin de su curso en virtud de la fuerza expansiva; y segun la ley de Mariotte, la intensidad de esta fuerza será tanto menor en cuanto el volúmen del flúido sea mayor.

Para obtener la cantidad de trabajo desarrollado por la expansion, se empieza por suponer que el volúmen del vapor introducido en el cilindro pasa por todos los grados de magnitud formando, en los diferentes valores que adque-