

por centímetro cuadrado. Designemos por p_m esta presión media; la fórmula (3) será ahora:

$$C = \frac{p_m \times S \times V}{75} \quad (8)$$

Para el cálculo de p_m sirve la fórmula:

$$p_m = k \times p - p' \quad (9)$$

En estas fórmulas representan:

k un coeficiente variable con el grado de la expansión y la clase de la máquina;

p la presión absoluta del vapor, contada a partir del vacío, en kilogramos por centímetro cuadrado;

p' la contra-presión que obra sobre el émbolo, en kilogramos por centímetro cuadrado;

S la superficie del émbolo en centímetros cuadrados;

V la velocidad del émbolo en metros por segundo.

Designemos por d el grado de la expansión; los valores de k que han de entrar en la expresión (9) para calcular p_m serán los que da la siguiente tabla.

354. Valores del coeficiente de la fórmula (9). — Tabla núm. 8.

d	k	d	k	d	k	d	k
9/10	0,9951	6/10	0,9117	1/4	0,6258	1/9	0,4131
8/10	0,9796	1/2	0,8556	1/5	0,5588	1/10	0,3919
3/4	0,9675	4/10	0,7813	1/6	0,5086	1/11	0,3739
7/10	0,9523	1/3	0,7196	1/7	0,4697	1/12	0,3585
2/3	0,9404	3/10	0,6845	1/8	0,4386	1/15	0,3230

En realidad, la presión de la caldera es en la práctica superior a la presión inicial p , de 1 a 25 por 100.

El valor de p' , *contra-presión* en las máquinas sin

condensación, que en los cálculos precedentes se ha supuesto igual a 1K2550, es de 1K205 a 1K209 si el escape está bien dispuesto, y de 1K21 a 1K22 si se efectúa con dificultad.

En las locomotoras, p' oscila entre 1K2100 y 1K2300.

El valor de p' , *contra presión en las máquinas con condensación*, que se ha supuesto igual a 0K2517 para los cálculos de las expansiones, oscila en realidad entre 0K2150 y 0K2330, siendo ordinariamente igual a 0K2280.

PROBLEMAS.—1.º. ¿Cuál es, en caballos, la potencia de una máquina de vapor *de expansión y sin condensación* cuyo cilindro mide 405 milímetros de diámetro, y cuyo émbolo lleva una velocidad de 1^m20 por segundo, siendo 6 atmósferas la presión inicial en el cilindro y $\frac{1}{2}$ la expansión?

Tenemos, según (8),

$$C = \frac{p_m \times S \times V}{75};$$

en cuya fórmula p_m es la presión media (9):

$$p_m = k \times p - p'.$$

En este caso, la tabla núm. 8 nos dice que $k=0,6258$; p , o sean 6 atmósferas, equivale a 6,2004 kilogramos, y en cuanto a p' ya hemos dicho que podríamos aceptar $p' = 1,10$ kilogramos.

Por consiguiente,

$$p_m = 0,6258 \times 6,2004 - 1,10$$

o bien

$$p_m = 2,78 \text{ kilogramos.} \quad (a)$$

Por otra parte, la superficie S del émbolo en centímetros cuadrados para un diámetro de 40,5 centímetros, será:

$$\frac{\pi \times 40,5^2}{4} = 1288,25. \quad (b)$$

La velocidad V del émbolo en metros por segundo es

$$V = 1^m 20. \quad (c)$$

Substituyamos ahora en la fórmula (8) los valores (a), (b) y (c), y resultará:

$$C = \frac{2,78 \times 1288,25 \times 1,20}{75},$$

y, efectuando el cálculo,

$$C = 57,301 \text{ caballos.}$$

Según la tabla núm. 6, el rendimiento de esta máquina, para una potencia de 30 a 50 caballos, no excede de 0,70; por consiguiente, deberemos multiplicar por este número el resultado que hemos encontrado, para tener la potencia realmente disponible.

Tendremos, pues:

$$C = 0,70 \times 57,301,$$

y, por fin,

$$C = 40 \text{ caballos aproximadamente.}$$

2.º ¿Cuál es, en caballos, la potencia de una máquina de vapor, con expansión y condensación, siendo 405 milímetros el diámetro del cilindro, 1^m20 por segundo la velocidad del émbolo, 6 atmósferas la presión inicial en el cilindro y $\frac{1}{10}$ la expansión?

En las fórmulas

$$C = \frac{p_m \times S \times V}{75} \quad (8)$$

y

$$p_m = k \times p - p' \quad (9)$$

se tiene en este caso, según la tabla n.º 8, $k = 0,3919$, y, según el enunciado, $p = 6$ atmósferas, o sea 6,2004 kilogramos por centímetro cuadrado. Como la máquina lleva condensador, la contra-presión p' será de 0,280 kilogramos.

Por consiguiente:

$$p_m = 0,3919 \times 6,2004 - 0,280,$$

o

$$p_m = 2,150 \text{ kilogramos.} \quad (a)$$

La superficie S del émbolo en centímetros cuadrados es:

$$\frac{\pi \times 40,5^2}{4} = 1288,25. \quad (b)$$

Por fin, la velocidad V del émbolo en metros por segundo es:

$$V = 1^m 20. \quad (c)$$

Substituyamos estos valores (a), (b) y (c) en la fórmula (8), y saldrá:

$$C = \frac{2,15 \times 1288,25 \times 1,20}{75},$$

o, finalmente,

$$C = 44,315 \text{ caballos.}$$

La tabla n.º 7, referente al rendimiento de las máquinas de expansión y condensación, nos dice que el rendimiento para una potencia de 30 a 50 caballos es de 0,63; luego:

$$C = 0,63 \times 44,315,$$

o

$$C = 28 \text{ caballos aproximadamente.}$$

Si comparamos los datos de los dos problemas anteriores, veremos que en la misma máquina, según que haya o no condensación, la expansión empieza al $\frac{1}{10}$ o al $\frac{1}{4}$ de la carrera.

La máquina con condensador emplea, pues,

$$\frac{\frac{1}{10}}{\frac{1}{4}} = \frac{4}{10} = \frac{2}{5}$$

del vapor necesario para la otra, mientras que las potencias respectivas están en la relación de $\frac{28}{31}$, es decir, son casi iguales. Se ve, pues, bien clara la ventaja del condensador.

355. Máquina de Woolf.—En esta máquina el vapor admitido en un cilindro pequeño va a efectuar su expansión en un cilindro mayor. El trabajo es el mismo que el de una máquina que tuviera como cilindro único el cilindro grande, siendo la expansión la misma.

El valor de p_m se calcula por la fórmula (9). El grado de expansión es:

$$d = \frac{\text{volumen de admisión en el cilindro menor}}{\text{volumen total del cilindro mayor}}.$$

El valor S de la fórmula (8) será el área del émbolo del cilindro grande.

La fracción de expansión en el cilindro menor varía entre 1 y 0,75, y llega hasta 0,50.

356. Expansión.—La expansión, aplicada a las máquinas de vapor, representa una economía de combustible, pues a cada oscilación simple del émbolo no se gasta más que $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{5}$ del vapor que cabe en el cilindro.

El cuadro siguiente, en el cual se ha tomado como punto de comparación el trabajo a plena presión, permite apreciar de una sola ojeada esta ventaja de la expansión.

Tabla n.º 9.—Economía obtenida con la expansión.

Grado d de la expansión	Trabajo tomando como unidad el de la plena presión sin expansión	Trabajo con 1 de vapor	Precio de la misma cantidad de trabajo
1	1,0000	1,00	1,00
$\frac{3}{4}$	0,9796	1,29	0,78
$\frac{1}{2}$	0,8556	1,69	0,60
$\frac{1}{3}$	0,7196	2,11	0,48
$\frac{1}{4}$	0,6258	2,50	0,44
$\frac{1}{5}$	0,5588	2,65	0,40
$\frac{1}{10}$	0,3919	3,50	0,32

Aplicación a una máquina de expansión sin condensación:

Calcular la potencia de una máquina cuyo cilindro tiene 0m40 de diámetro y cuyo émbolo recorre 0m80 de carrera. El vapor entra a plena presión durante $\frac{1}{4}$ de la carrera, siendo dicha presión de 7 atmósferas. La máquina da 45 revoluciones por minuto.

Para la expresión (9):

$$p_m = k \times p - p',$$

se tiene, según la tabla n.º 8, $k = 0,6258$; la tabla n.º 3 da, para 7 atmósferas, $p = 7^{\text{Kg}}2338$; y la contrapresión puede suponerse $p' = 1^{\text{Kg}}5$ para un escape deficiente.

Por consiguiente,

$$p_m = 0,6258 \times 7,2338 - 1,5,$$

o

$$p_m = 3,027.$$

En la fórmula (8):

$$C = \frac{p_m \times S \times V}{75},$$

se tiene:

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{\pi}{4} 40^2 = 1\,256,64 \text{ centímetros cuadrados};$$

$$V = \frac{2 \pi l}{60} = \frac{2 \times 45 \times 0,80}{60} = 1,20, \text{ velocidad del émbolo.}$$

Según esto,

$$C = \frac{3,027 \times 1\,256,64 \times 1,20}{75},$$

o

$$C = 60,86 \text{ caballos de vapor.}$$

Pero el rendimiento de esta máquina, para 60 caballos, no es más que de $K = 0,80$.

La potencia práctica será, pues,

$$C' = 0,80 \times 60,86,$$

o bien

$$C' = 48,69 \text{ caballos de vapor.}$$

Aplicación a una máquina con expansión y condensación.

Supongamos los mismos datos de la máquina precedente.

La introducción del condensador hace variar la contra-presión p' , cuyo valor, exagerándolo, es de 0,500 kilogramos; por consiguiente:

$$p_m = 0,6258 \times 7,2338 - 0,5 = 4,027.$$

La fórmula (8) da:

$$C = \frac{4,027 \times 1\,256,64 \times 1,20}{75};$$

$$C = 80,97 \text{ caballos de vapor.}$$

El rendimiento de estos motores es 0,74; la potencia práctica será, pues,

$$C' = 0,74 \times 80,97,$$

$$C' = 59,91 \text{ caballos de vapor.}$$

Como se ve, la aplicación del condensador a esta máquina ha reportado una ganancia de $59,91 - 48,69 = 11,22$ caballos de fuerza, con el mismo consumo de vapor.

357. Volante de la máquina de vapor.—El objeto principal del volante es almacenar, a expensas de la potencia, trabajo en forma de potencia viva, para restituirlo en el momento en que la máquina flojee.

De este modo se regulariza el trabajo del motor.

El volante es, pues, un almacén de potencia viva; una reserva que viene en ayuda de la máquina cuando se exige súbitamente de ésta un exceso de trabajo.