

Cálculo de una máquina a vapor de triple expansión de 3.333 I. H. P.

(CABALLOS INDICADOS DE POTENCIA)

AL efectuar los cálculos de esta máquina, seguiremos el método del profesor señor Edward M. Bragg de la Universidad de Michigán, EE. UU. de N. A. Para un mayor conocimiento sobre la materia recomendamos al lector la obra «The Marine Engine Design and Auxiliaries» de dicho profesor.

EJEMPLO.—Supongamos que se van a desarrollar 10.000 I. H. P. por medio de dos máquinas recíprocas de triple expansión y una turbina central de baja presión, la que tomará el vapor de los cilindros de baja con una presión absoluta de 10 libras. La presión del vapor generado será de 200 libras efectivas con 100° F. de sobrecalentamiento. Se permitirá una caída de presión de 15 libras entre la caldera y la máquina.

Tratándose de calcular una de las máquinas tenemos los siguientes datos

$$\begin{aligned} I. H. P. &= 3.333 \\ P_i &= 199.7 \text{ libras abs.} \\ P_b &= 10 \quad \text{»} \quad \text{»} \end{aligned}$$

Sobrecalentamiento = 100° F.

Velocidad del pistón P. S. = 750 pies por minuto.

Supondremos los siguientes valores para los espacios muertos y corte de vapor:

$$\begin{aligned} Cl_H &= 0.16; \quad Cl_M = 0.13; \quad Cl_L = 0.12; \\ \text{Corte de vapor} &= 0.70. \end{aligned}$$

NOTA.—Al final de cada artículo indicaremos las fórmulas y curvas necesarias para efectuar los cálculos.

Supondremos también que el diámetro de la barra del pistón es de 7", valor que se puede tomar de una máquina previamente calculada y que sea de igual potencia.

En la tabla N.º 1 encontramos que el valor de M. R. P. es de 42 libras para obtener la mayor economía.

$$M. R. P_o = 42 + 10 = 52 \text{ libras.}$$

$$H. R_a^{0.4} = \frac{M. R. P_o}{P_i^{0.6}} = \frac{42+10}{185+14.7} = \frac{52}{(199.7)^{0.6}} = 2.17 \text{ (Para vapor saturado).}$$

Para vapor con 100° F de sobrecalentamiento, tomamos de la curva N.º 4 el valor de $s=0.935$.

$$H. R_a^{0.4} = \frac{M. R. P_o}{P_i \times S} = \frac{2.17}{0.935} = 2.3$$

En la curva N.º 3 encontramos que el valor de $R_a=670$.

$$\text{Area neta del cilindro de baja, } AL = \frac{3.333 \times 33.000}{42 \times 750} = 3491.7 \text{ pulgadas cuad.}$$

$$\frac{(AL \text{ neta}) (1 + Cl_L)}{(AH \text{ neta}) C_H + Cl_H} = 670 = \frac{3.491.7 \times 1.12}{(A_H \text{ neta}) 0.86}$$

$$\text{Area neta cilindro de alta, } A_H = \frac{3.491.7 \times 1.12}{67 \times 0.86} = 678.94 \text{ pulgadas cuadradas.}$$

$$\text{Area neta cilindro de media, } A_M = \sqrt{3.491.7 \times 678.94} = 1.538.9 \text{ pulgadas cuad.}$$

Como hemos supuesto que el diámetro de las barras de los pistones es de 7" y como la mitad del área de cada barra es igual a 18.20 pulgadas cuadradas, tenemos que las superficies y diámetros de los cilindros serán los siguientes:

$$\begin{aligned} A_H &= 678.94 + 18.20 = 697.18 \text{ pulgadas cuadradas; } D_H = 29.7/8'' \\ A_M &= 1.538.9 + 18.20 = 1.557.10 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad D_M = 44.5/8'' \\ A_L &= 3.491.7 + 18.20 = 3.509.90 \quad \text{»} \quad \text{»} \quad D_L = 66.7/8'' \end{aligned}$$

Tomaremos la carrera de los pistones = 48".

Ahora podemos hacer una investigación completa de los efectos producidos en la distribución de la potencia por los cortes del vapor en los cilindros de media y baja presión, calculando dicha distribución para diversos cortes de vapor, tales como 30%, 50%, 70% y 90% y construyendo curvas con tales valores.

Corte de vapor 30% en el cilindro M_P

$$\frac{(0.30 + 0.13) 1,557.10}{(0.70 + 0.16) 697.18} = 1.116$$

Según la curva para máquinas de triple expansión con tres cilindros (Fig. 5), esta relación de volúmenes de admisión, hará, que un 13.2% del trabajo total, sea desarrollado en el cilindro de alta.

Corte de vapor 50% en el cilindro M_P

$$\text{Relación de los volúmenes de admisión} = 1.116 \times \frac{0.63}{0.43} = 1.635$$

Porcentaje del trabajo total desarrollado = 23%.

Corte de vapor 70% en el cilindro M_P

$$\text{Relación de los volúmenes de admisión} = 1.116 \times \frac{0.83}{0.43} = 2.151$$

Porcentaje del trabajo total desarrollado = 31.5%.

Corte de vapor 90% en el cilindro M_P

$$\text{Relación de los volúmenes de admisión} = 1.116 \times \frac{1.03}{0.43} = 2.67$$

Porcentaje del trabajo total desarrollado = 39.5%.

PORCENTAJES DE LOS TRABAJOS EFECTUADOS EN LOS CILINDROS DE ALTA Y MEDIA (H_P Y M_P)

Corte de vapor 30% en el cilindro L_P

$$\text{Relación de los volúmenes de admisión} = \frac{(0.30 + 0.12) 3,509.9}{(0.70 + 0.16) 697.18} = 2.46$$

Porcentaje del trabajo total = 37%.

Corte de vapor 50% en el cilindro L_P

$$\text{Relación de los volúmenes de admisión} = 2.46 \times \frac{0.62}{0.42} = 3.61$$

Porcentaje del trabajo total = 51.40%.

Corte de vapor 70% en el cilindro L_p

$$\text{Relación de los volúmenes de admisión} = 2.46 \times \frac{0.82}{0.42} = 4.8$$

$$\text{Porcentaje del trabajo total} = 62.20\%$$

Corte de vapor 90% en el cilindro L_p

$$\text{Relación de los volúmenes de admisión} = 2.46 \times \frac{1.02}{0.42} = 5.97$$

$$\text{Porcentaje del trabajo total} = 68.50\%$$

Cortes de vapor supuestos	% del trabajo total efectuado en el cilindro de alta	% del trabajo total efectuado en los cilindros de alta y media	% del trabajo total efectuado en el cilindro de media	% del trabajo total efectuado en el cilindro de baja
30%	13.20	37.00	23.80	63.00
50%	23.00	51.40	28.40	48.60
70%	31.50	63.00	31.50	37.00
90%	29.50	68.50	29.00	31.50

Con estos resultados trazamos las curvas A de la figura 1. Los cortes de vapor que producirán la mayor economía serán los siguientes:

$$\text{Cilindro M. P.} \quad R = \frac{1.557.14(1 + 0.13)}{697.18(1 + 0.16)} = 2.18$$

$$0.15 + \frac{1}{R} = 0.15 + \frac{1}{2.18} = 0.609$$

$$\text{Cilindro L. P.} \quad R = \frac{3.509.9(1 + 0.12)}{1.557.14(1 + 0.13)} = 2.24$$

$$0.15 + \frac{1}{2.24} = 0.597$$

Los cortes de vapor, para obtener la potencia máxima, serán los siguientes:

$$\text{Cilindro } M_p = 0.609 \times 1.40 = 0.853.$$

$$\bullet \quad L_p = 0.597,$$

Las curvas de la Figura 1 nos capacitan para determinar qué porción del trabajo total será efectuado, en cada uno de los cilindros, con estos cortes de vapor, o con otros que se estime conveniente tomar para el cálculo.

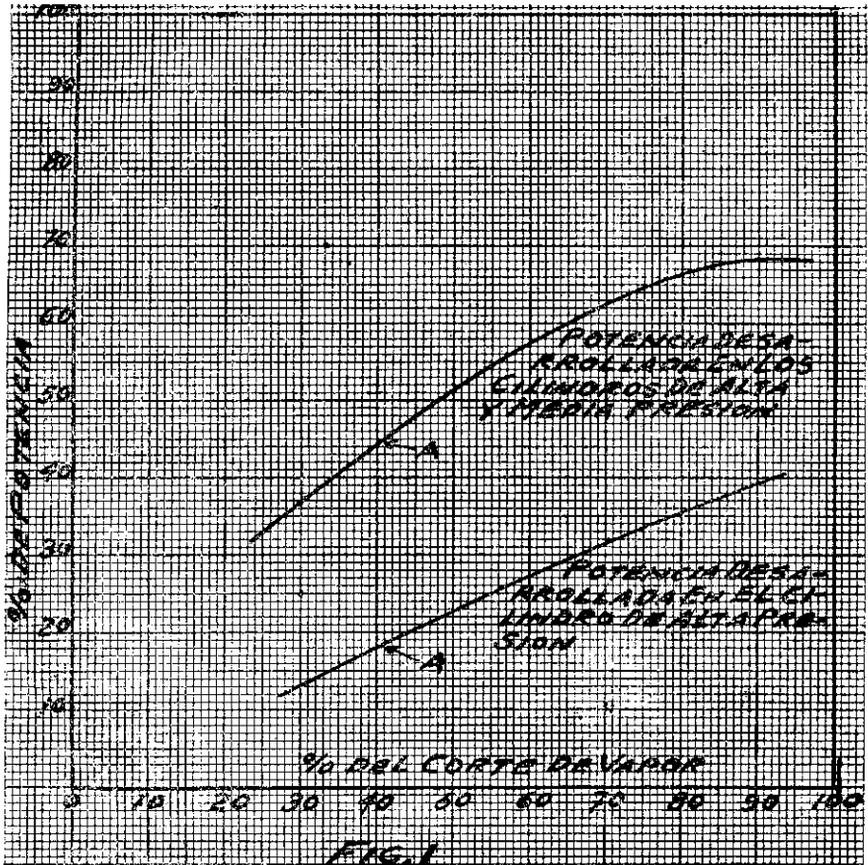
TABLA

	CORTES DE VAPOR			% DE TRABAJO			
		C.H _p	C.M _p	C.L _p	C.H _p	C.M _p	C.L _p
Trabajo igualmente distribuido	1	0.70	0.74	0.81	33. ¹ / ₃	33. ¹ / ₃	33. ¹ / ₃
Trabajo para economía máxima	2	0.70	0.61	0.60	27.8	29.6	42.6
Trabajo para potencia máxima	3	0.70	0.85	0.60	37.6	19.8	42.6
Cortes de vapor finalmente tomados	4	0.70	0.70	0.70	31.5	30.90	37.6

Los cortes de vapor indicados en la línea 4, parecen ser los más adecuados para una mejor distribución del trabajo. La máquina puede ser balanceada colocando un cilindro a continuación del otro (alta, media y baja presión).

RESUMEN. TABLA

	C.H _p	C.M _p	C.L _p
Area del cilindro, Pulg. ²	697.18	1,557.14	3,509.90
Diámetro del cilindro.	29.87"	44.60"	66.87"
» » »	29. ⁷ / ₈ "	44. ⁵ / ₈ "	66. ⁷ / ₈ "
Espacios muertos	0.16	0.13	0.12
Cortes de vapor	0.70	0.70	0.70
% de trabajo	31.50	30.90	37.60
Carrera	48"	48"	48"



FORMULAS

$$M.E.P. = P_i \frac{1 + \log_e R}{R} - P_b$$

M.E.P. = presión media teórica en libras, por pulgada cuadrada.

P_i = presión absoluta inicial en el cilindro de alta.

R = número de expansiones.

P_b = contrapresión absoluta en libras.

M.R.P. = presión media en libras, referida al cilindro de baja.

$M.R.P_o = M.R.P. + P_b$.

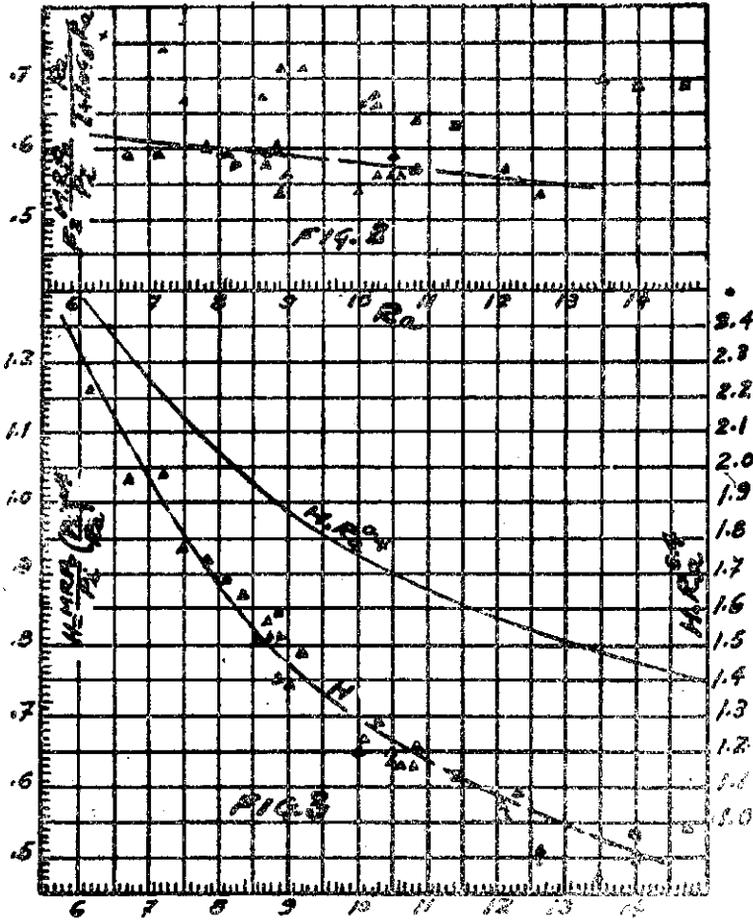
H = factor de diseño.

R_a = número de expansiones, tomando en consideración los espacios muertos y las barras de los pistones.

$$H. R_a^{0.4} = \frac{M. R. P_o}{P_i^{0.6}} \text{ (para vapor saturado).}$$

S = factor de sobrecalentamiento que se toma de la curva. Figura 4.

$$H. R_a^{0.4} = \frac{M. R. P_o}{P_i^{0.6} \times S} \text{ (para vapor sobrecalentado).}$$



FIGS. 2 Y 3

Se suponen valores de $M. R. P.$ y de P_b , lo que nos capacita para obtener el valor de $M. R. P_o$. Se conoce la presión inicial de la caldera y de ella se determina P_i que es la presión inicial absoluta en el cilindro de alta. La caída de presión entre la caldera y el cilindro, depende de la longitud de la cañería y de la velocidad del vapor. Cuando se desarrolla la potencia máxima, generalmente la caída de presión varía entre 15 y 30 libras. La curva marcada H , en la Figura 3, da valores medios del factor H . Los valores de R_a se encuentran directamente de la curva marcada $R_a^{0.4}$.

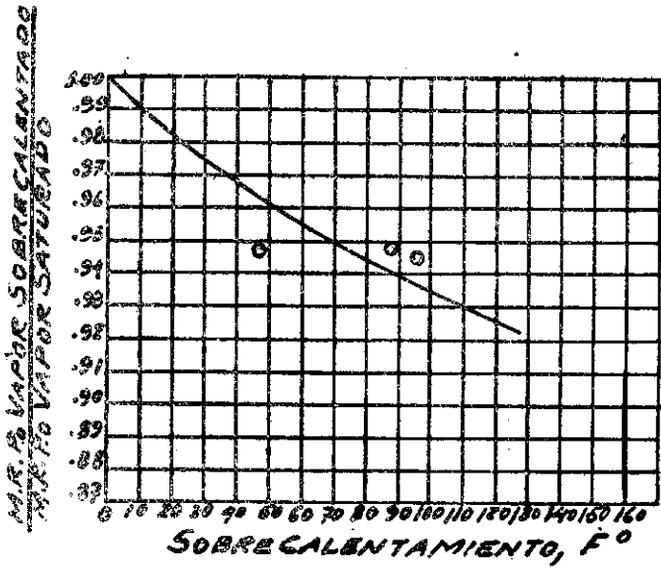


FIG. 4

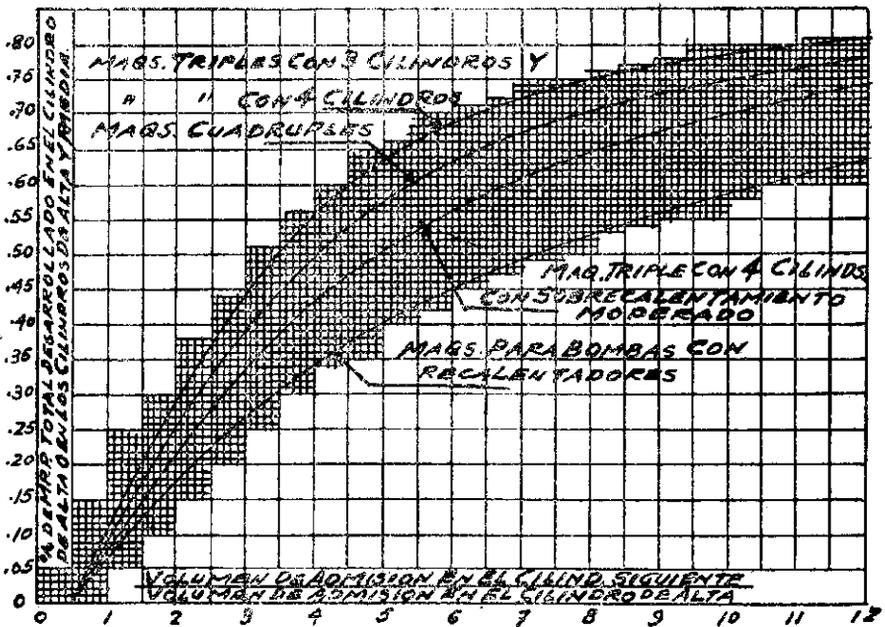


FIG. 5

$$A_L = \frac{I. H. P. \times 33.000}{P. S. \times M. R. P.}$$

A_L = área del cilindro de baja.

$I. H. P.$ = potencia en caballos indicados.

$P. S.$ = velocidad del pistón, en pies por minuto, adecuada al tipo de máquina.

$$A_H = \frac{(A_1 - x) (l + Cl_L)}{R_a (C_H + Cl_H)} + x$$

$$R_a = \frac{\text{volumen final del vapor}}{\text{volumen inicial del vapor}}$$

A_L = área del cilindro de baja.

A_H = área del cilindro de alta.

X = $\frac{1}{2}$ área de la barra del pistón.

Cl_L = volumen del espacio muerto del cilindro de baja, expresado en fracción de la carrera del pistón.

Cl_M = volumen del espacio muerto del cilindro de media.

Cl_H = volumen del espacio muerto del cilindro de alta.

Espacios muertos.—Con lumbreras horizontales, empleando velocidades del pistón bastante altas y manteniendo las válvulas de distribución lo más cerca posible de los cilindros, se pueden emplear los valores siguientes:

Válvulas de pistón	Válvulas planas
$Cl_H = 0.16$
$Cl_M = 0.15$	0.10
$Cl_L = 0.12$	0.09

Tamaño del cilindro intermediario:

$$A_M = \sqrt{A_L A_H}$$

A_M = área del cilindro de media.

A_L = área del cilindro de baja.

A_H = área del cilindro de alta.

C_H = corte de vapor.

D_H = diámetro del cilindro de alta.

D_M = diámetro del cilindro de media.

D_L = diámetro del cilindro de baja.

C_{Hp} = cilindro de alta.

C_{Mp} = cilindro de media.

C_{Lp} = cilindro de baja.

Las presiones referidas al cilindro de baja (M. R. P.) para diferentes condiciones, se encuentran en la tabla siguiente:

TABLA N.º 1

	Máquina de un cilindro 75 Libs. abs.	Máquinas de expansiones múltiples 165 Libs. abs.	Máquinas de expansiones múltiples 200 Libs. abs.	Máquinas de expansiones múltiples 250 Libs. abs.
Sin camisa y sin condensación....	37	42-47	48-53	53-58
Sin camisa y con condensación....	35	40-45	45-50	50-55
Con camisa y con condensación....	33	38-43	42-47	47-52
Ligeramente sobrecalentado.....	32	36-41	40-45	45-50
Altamente sobrecalentado.....	30	33-38	37-42	42-47

Efectos del corte vapor:

Para obtener la mayor economía el corte de vapor debería ser $= 0.15 + \frac{1}{R}$.

Para la potencia máxima debería ser $= \left(0.15 + \frac{1}{R}\right) 1.4$ en el cilindro de media y $0.15 + \frac{1}{R}$ para el cilindro de baja.

Carrera del pistón:

Generalmente, se hace la carrera de la máquina igual o un poco mayor que el cilindro de media. Muy empleadas son las cantidades siguientes: 24", 27", 30", 33", 36", 39", 42", 45", 48", 51", 54", 60", 66", 72".

Para las máquinas de las naves de guerra raras veces se emplea una carrera mayor de 48".

Velocidades del pistón:

Las velocidades del pistón en máquinas de la marina mercante fluctúa, generalmente, entre 600 y 1.000 pies por minuto.

(Continuará).