

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

(Continuación)

CÁLCULO DE LAS BIELAS

Tomaremos $\frac{l}{r} = 4.5$.

Largo de la biela, $l = 4.5 \times 2' = 9' = 108''$.

Cuando $\frac{l}{r} = 4.5$, el valor de $K = 1.026$.

Carga máxima que actúa sobre el cilindro:

$$W = \frac{2 \times 1.253 \times 33.000}{750} = 110.64 \text{ libras.}$$

$P = 110.264 \times 1.026 = 113.130$.

factor de seguridad, $n = 12$.

Carga de ruptura, $C = 70.000$ libras por pulgada cuadrada.

$$f = \frac{70.000}{12} = 5.825 \text{ libras.}$$

$$F = \frac{2 \times 113.130}{3.1416 \times 5.825} = 12.35$$

$$D^2 = \sqrt{\frac{1.8 \times 12.35 \times 70.000 \times 108^2}{30.000.000}} + 12.35^2 + 12.35 = 6.3''$$

Haremos el diámetro en la mitad del largo de la biela = $0.1/2''$.

Diámetro en el extremo superior de la biela = $6.5 \times 0.9 = 5.86 = 5.7/8''$.

» » » » inferior » » » = $6.5 \times 1.1 = 7.15 = 7.1/4''$.

Carga que soportan los pernos de las tapas de los alfileres de la cruceta.

$$\frac{113.130}{4} = 28.282 \text{ libras.}$$

Según la tabla N.º 2 el diámetro del perno = $3''$

La cabeza de los pernos será = $3 \times 1.5 = 4.1/2''$ de diámetro.

$T = 7.75 + 3 + 0.5 = 11.25''$.

$11.25 - 4.5 = 6.75$

Tomando el espesor Z de la horquilla igual a $6.5/8''$ quedará entre las cabezas de los pernos y el cuerpo de la biela un espacio de $1/16''$.

El largo del alfiler de la cruceta = $7''$.

La caja sobresale $3/4''$ a cada lado.

$K = 7 - 1.5 = 5.1/2''$.

$$\text{Espesor de la tapa: } S = \sqrt{\frac{P \times T}{2 \times K \times f}} = \sqrt{\frac{113.130 \times 11.25}{2 \times 5.5 \times 7.500}} = 3.98 = 4''.$$

$F = 11.5 + 0.25 = 11.75''$.

$W = 11.75 + 1.5 = 13.1/4''$.

$V = 5.125 + 4.75 + 4.75 = 14.625 = 14.3/4$.

$O = 3'' + 0.5 = 3.1/2''$ $N = 1.3/4$.

Radio interior de la horquilla = $\frac{13.25}{2} = 6.625 = 6.5/8$.

$$h = \frac{P}{4bf} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{48bfI}{P}} \right)$$

$$h_1 = \frac{113.130}{4 \times 6.625 \times 5000} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{48 \times 6.625 \times 5.000 \times 1}{113.130}} \right) =$$

$h_1 = 0.855 \times 4.88 = 4.17''$.

$h_2 = 0.855 \times 6.44 = 5.50''$.

$h_3 = 0.855 \times 7.58 = 6.48''$.

$h_4 = 0.855 \times 8.58 = 7.36''$.

$h_5 = 0.855 \times 9.45 = 8.10''$.

Los pernos de la cabeza de la biela llevan tuercas provistas de un cuello y cuyas dimensiones pueden tomarse de la tabla N.º 7, en la cual encontramos los siguientes valores para pernos de un diámetro de tres pulgadas:

$$D=3''; \quad A=4\frac{1}{2}''; \quad B=3\frac{1}{8}''; \quad C=1''; \quad D=\frac{5}{8}''$$

$$E=1\frac{3}{16}''; \quad F=\frac{1}{2}''; \quad J=1\frac{1}{16}''; \quad H=\frac{5}{8}'' \text{, para hierro dulce.}$$

$$H=\frac{3}{4}'' \text{, para hierro fundido.}$$

El espesor total de los «liners» del extremo de la cruceta debe ser igual a dos pulgadas, y es compuesto de los siguientes espesores:

1	liner de hierro fundido	de	$1\frac{5}{8}''$	de espesor.
1	» »	bronce	de	$\frac{1}{4}''$ » »
1	» »	estaño	de	$\frac{1}{16}''$ » »
1	» »	estaño	de	$\frac{1}{32}''$ » »
2	» »	estaño	de	$\frac{1}{164}''$ » »

Cada perno de la caja del alfiler del eje cigüeñal debe soportar una carga de $\frac{113.130}{2} = 56,565$ libras.

Según la tabla N.º 2 el diámetro del perno debe ser de $3\frac{3}{4}''$, número de hilos = 4, área en la raíz = 9.21 pulgada cuadrada; factor de seguridad igual a 10.

Más adelante, al tratar de los ejes, se darán más detalles de las fórmulas empleadas para su cálculo.

Diámetro del eje intermediario:

$$D = (0.038 \times 29.87 + 0.009 \times 44.60 + 0.002 \times 66.87 + 0.0165 \times 48) \sqrt[3]{199.7} = 14.37 = 14\frac{1}{2}''.$$

$$\text{Diámetro del eje cigüeñal} = \frac{21}{20} \times 14.5 = 15\frac{1}{4}''.$$

$$\text{Diámetro del alfiler del cigüeñal} = 16\frac{1}{4}''.$$

Carga sobre el alfiler del cigüeñal:

$$L_1 = \frac{21.000}{P. S.} \times 1.6 \times \text{I. HP.}$$

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

I. HP = Caballos sindicados de potencia desarrollados en el cilindro sobre el alfiler del cigüeñal.

$$\text{I. HP} = \frac{37.6 \times 3,333}{100} = 1253$$

$$L_1 = \frac{21.000}{750} \times 1.6 \times 1253 = 56.200 \text{ libras.}$$

De la tabla N.º 6 carga permitida = 200 libras.

$$\text{Superficie} = \frac{56.200}{200} = 281 \text{ pulgadas cuadradas.}$$

$$\text{Largo del alfiler del cigüeñal} = \frac{281}{16.25} = 17.35'' = 17\frac{3}{8}''.$$

Hagamos que la caja sobresalga 2'' a cada lado, entonces:

$$L = 17\frac{3}{8} - 4 = 13\frac{3}{8}$$

Distancia entre los centros de los pernos, $U = D$ del alfiler del cigüeñal + d del perno + $\frac{d}{4} = 16.25 + 3.75 + \frac{3.75}{4} = 21''$.

$$R, \text{ en el extremo del alfiler del eje cigüeñal} = \sqrt{\frac{113.130 \times 21}{13.375 \times 5.000}} = 5.98 = 6''.$$

Hagamos $M = 2\frac{7}{8}$; $O = \frac{3}{8}$; $P = 4.1\frac{1}{2} = \frac{1}{2}$.

Espesor total de los «liners» del alfiler del eje cigüeñal = $3\frac{1}{2}''$, se descompone como sigue:

1	«liner»	de	hierro fundido	=	$2\frac{3}{4}''$
1	»	»	bronce	»	$\frac{9}{16}''$
2	»	»	estaño	»	$\frac{1}{16}''$
1	»	»	estaño	»	$\frac{1}{32}''$
2	»	»	estaño	»	$\frac{1}{64}''$

PRESIÓN SOBRE LOS DESCANSOS

Es costumbre calcular la superficie de los descansos de los alfileres y de los ejes, haciéndola igual a la longitud de la superficie, multiplicada por el diámetro del alfiler o del eje. La presión permitida debe ser suficientemente baja para mantener el descanso frío y varía con las condiciones y la posibilidad del enfriamiento artificial. Cuando no hay moción entre dos piezas, la presión puede ser muy grande, pero a medida que la moción aumenta, la presión permitida debe ser menor. Como lo importante es mantener el descanso frío, podemos tratar con la unidad de presión media en el descanso, porque generalmente la presión máxima sólo tiene lugar por instantes. Sin embargo, en algunos casos, a fin de evitar confusión, es más conveniente tratar con la presión máxima. En la tabla N.º 6 se dan las presiones permitidas sobre diferentes superficies. Todas estas superficies, con excepción de dos, son calculadas para cargas máximas, porque tales cargas son empleadas en el

diseño de otras piezas y hay menos confusión al tratar sólo con una carga. Se notará que se permite soportar la unidad de presión más grande sólo a aquellas superficies que tienen una acción relativamente pequeña, mientras que para aquellas piezas que tienen un gran movimiento, la unidad de presión es más baja.

TABLA N.º 6

Se emplean cargas medias	Naves Mercantes	Naves de Guerra
	Libras	Libras
Alfiler del cigüeñal.....	200 a 250	300 a 350
<i>Descansos principales:</i>		
1.º cilindro.....	150 » 200	250 » 300
2.º cilindro, descanso de proa.....	200 » 250	300 » 350
2.º cilindro, descanso de popa.....	250 » 300	350 » 400
3.º cilindro, descanso de proa.....	300 » 325	400 » 425
3.º cilindro, descanso de popa.....	325 » 350	450 » 500
4.º cilindro, descanso de proa.....	350 » 375	500 » 525
4.º cilindro, descanso de popa.....	375 » 400	550 » 600
Se emplean cargas máximas	Libras	Libras
Guía de la zapata.....	50 a 70	80 a 100
Alfileres de la cruceta.....	850 » 1000	1000 » 1200
Alfiler del bloque del sector del cambio de marcha.....	750 » 1000	850 » 1200
Bronces del bloque del sector.....	250 » 400	350 » 500
Alfileres de la barra excéntrica.....	700 » 950	900 » 1100
Alfileres de la barra tirante del cambio de marcha.....	500 » 700	700 » 800
Excéntricas.....	75 » 150	150 » 200
Anillos del descanso de empuje.....	50 » 80	80 » 100

Diámetro de las bielas.—La biela debería ser calculada lo mismo que una columna. Puede emplearse la fórmula: $D^2 = \sqrt{\frac{1.8 F \cdot C \cdot l^2}{E} + F^2} + F$, para determinar el diámetro H en la mitad de su longitud. El largo de la biela es generalmente de 4.r a 5.r, o sea, $\frac{l}{r} = 4$ a 5.

El empleo de la relación 4.5 es muy usado, pero en las máquinas de la marina de guerra, donde la altura es de gran importancia, se emplea la relación $\frac{l}{r} = 4$.

Generalmente se construye la biela y la barra del pistón con la misma clase de acero y debería emplearse el mismo factor de seguridad, o sea 18. La carga máxima soportada por la biela es algo mayor que la soportada por la barra del pistón, debido al hecho de que la biela forma un ángulo con la línea de los centros cuando tiene lugar la carga máxima. El efecto de la angularidad es de aumentar hasta cierto grado la carga W .

Así tenemos: $P = WK$.

Si $\frac{l}{r} = 4$	4.25	4.5	4.75	5
$K = 1.033$	1.03	1.026	1.023	1.021

W = carga máxima sobre la barra del pistón.

Se puede determinar, aproximadamente, de las curvas de la figura 17 el diámetro en la mitad de la longitud de la biela.

Adelgazamiento del cuerpo de la biela.—Las fuerzas aceleradoras que actúan sobre la biela, a medida que se mueven hacia adelante y hacia atrás al través de la línea de los centros, da lugar a cierta cantidad de flexión la que es máxima cuando la barra hace un ángulo máximo con la línea de los centros. La resultante de las fuerzas aceleradoras actúa en el centro de percusión, el cual en la biela de una máquina marina está muy cerca del alfiler del eje cigüeñal, lo que hace que la parte inferior de la biela esté sometida a la flexión. También se produce en este punto cierta flexión debido al frotamiento del alfiler del cigüeñal con la caja. Rara vez se calcula el aumento del esfuerzo debido a la flexión en la parte inferior de la biela y el diámetro en este extremo es, arbitrariamente, aumentado.

El diámetro del extremo superior de la biela puede ser disminuído porque el aumento del esfuerzo debido a la acción de la columna es menor que aquél de la mitad de la longitud y además, se nota muy poco el efecto de la flexión transversal. Es corriente aumentar el diámetro del extremo inferior de la biela a 1.1H y hacer el del extremo superior igual a 0.9H, siendo el adelgazamiento uniforme de un punto al otro.

Pernos de la biela.—En una biela del tipo que se muestra en la figura 23 los pernos de cada extremo tienen que soportar la carga máxima que actúa sobre la biela. En el extremo de la cruceta se emplean cuatro pernos y dos en el extremo del alfiler del cigüeñal. Los tamaños pueden ser determinados por la tabla N.º 2. Es más seguro suponer que la carga del extremo de la cruceta es soportada sólo por tres pernos cuyas cabezas pueden ser cilíndricas.

Cajas de la biela.—El diámetro y longitud de las cajas en la cruceta y en el alfiler del cigüeñal deben ser adecuadas al tamaño de los alfileres que trabajan en ellas. Los apéndices laterales de las bielas a los cuales se conectan estas cajas, tienen un ancho menor que la longitud de las cajas, de modo que éstas sobresalgan

cierta cantidad. El ancho de los apéndices, véase figura 23, es 0,7 de la longitud de la caja en el alfiler del cigüeñal y más o menos de 0,8 en el extremo de la cruceta. Los apéndices deben tener la longitud necesaria que permita la colocación de las cabezas y de las tuercas de los pernos. Los espesores de los apéndices deben ser algo más grandes que el diámetro de los pernos que los atraviezan. La distancia entre el cuerpo de los pernos y los alfileres deberían ser de más o menos de 1/4 de pulgada en el extremo de la cruceta, y de más o menos 1/2 pulgada en el extremo del alfiler del cigüeñal. La distancia entre las líneas de centros de los pernos, en el extremo de la cruceta, debe ser tal que permita un espacio adecuado entre el cuerpo de los pernos y los alfileres de la cruceta y entre las cabezas y la horquilla.

Horquillas de la biela.—Los espesores Z de la horquilla (fig. 23) deben ser a lo menos igual al diámetro del extremo superior de la biela y generalmente se los aumenta en $\frac{1}{8}$ ó $\frac{1}{4}$ ".

Al calcular la horquilla es más seguro suponer los espesores mínimos. Siempre que los espesores de la horquilla se mantengan constantes, el ancho de cualquiera sección debe ser determinado por la flexión y compresión directa a las cuales está sometida. La fuerza total que actúa sobre la sección será la resultante de las fuerzas debidas a la compresión directa, a los esfuerzos de corte y a la flexión. Se toman en cuenta estos factores en la siguiente fórmula aproximada:

$$f = \frac{P}{2bh} + \frac{6Pl}{2bh^2}$$

$$h = \frac{P}{4bf} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{48bf}{P}} \right)$$

h = ancho de la sección correspondiente a la distancia l .

P = carga máxima sobre la biela.

b = espesor de la horquilla.

l = distancia desde el eje neutro de la sección a la línea de acción de la fuerza.

f = fatiga. Empléese un factor de seguridad de 12.

Se da a l valores sucesivos tales como 1 pulgada, 2 pulgadas, 3 pulgadas, etc., como se muestra en la figura 24, y se determinan los valores de h . Se hace semicircular el contorno interior de la horquilla y se trazan los valores de h más o menos normales al semicírculo, de modo que el centro del ancho h quede a la distancia adecuada de la línea de acción de la horquilla. El contorno exterior de la horquilla se formará por arcos de círculos convenientemente trazados. Generalmente, dos arcos del mismo radio se pueden hacer coincidir bastante cerca de los puntos. Algunas veces se hace el contorno exterior de la horquilla en línea recta, lo que la hace más pesada, porque la línea recta debe incluir el punto situado en la parte más ancha.

El punto más bajo del interior de la horquilla deberá dejar un espacio entre el extremo de la barra del pistón de más o menos el espesor de la tuerca del extremo de dicha barra. Deberá emplearse un factor de seguridad de 12.

Tapas de las bielas.—Las tapas de las cajas deberían ser calculadas como vigas de una longitud igual a la distancia entre los centros de los pernos y de un ancho igual al ancho de los apéndices. Las condiciones de carga y de soporte son tales que la viga no queda comprendida en ninguna de las clases de vigas corrientes. La carga es parcialmente distribuída y la condición de los extremos está comprendida entre aquéllos que están fijos y los que están soportados. Un momento de flexión igual a $\frac{Wl}{6}$ será bastante aproximado. Como la sección de la viga es rectangular, se determinará la altura por la siguiente fórmula:

$$\text{Extremo de la cruceta, } S = \sqrt{\frac{PT}{2Kf}}$$

$$\text{Extremo del eje cigüeñal, } R = \sqrt{\frac{PU}{Lf}}$$

P = carga máxima que actúa sobre la biela.

T y U = distancias entre los centros de los pernos de la cruceta y de la cigüeña respectivamente.

K y L = ancho de las tapas de la cruceta y de la cigüeña respectivamente.

f = fatiga permitida.

La carga que actúa sobre las tapas es intermitente y se debería usar un factor de seguridad igual a 8; pero, a fin de obtener una mayor rigidez se emplea un factor de seguridad igual a 10. Las tapas pueden ser hechas de bronce, de acero fundido y de acero dulce, siendo este último material el más empleado.

Es costumbre emplear no menos de cuatro hilos por pulgada para los pernos de las bielas, de las tapas de los descansos principales y para aquella parte tarrajada de la barra del pistón.

Cuando se emplean tuercas y cabezas exagonales éstas son, generalmente, de dimensiones standard. También se emplean tuercas y cabezas cilíndricas y tuercas provistas de un cuello. Para tuercas cilíndricas $d = 1,75 D$ a $1,67 D$ y $h = D$, donde $d =$ diámetro de la tuerca y h es la altura, $D =$ diámetro del perno. Para las cabezas de los pernos:

$$d = 1.5 D; \quad h = 0.67 D.$$

A continuación se da una tabla de tuercas provistas de un cuello, tal como se muestra en la figura 25.

TABLA 7

DIMENSIONES DE LAS TUERCAS PROVISTAS DE UN CUELLO (véase fig. 25)

Diámetro	A	B	C	D	E	F	G	H(*)	H(**)
1/2	1 3/16	7/8	7/16	1/4	3/8	1/4	5/16	5/16	3/8
9/12	7/8	7/8	7/16	1/4	3/8	1/4	5/16	5/16	3/8
5/8	1	1	7/16	1/4	3/8	1/4	5/16	5/16	3/8
3/4	1 3/16	1 1/8	9/16	5/16	7/8	5/16	3/8	3/8	7/16
7/8	1 3/8	1 1/4	9/16	5/16	7/16	5/16	3/8	3/8	7/16
1	1 9/16	1 3/8	5/8	3/8	1/2	5/16	7/16	7/16	1/2
1 1/8	1 3/4	1 3/8	5/8	3/8	1/2	5/16	7/16	7/16	1/2
1 1/4	1 15/16	1 5/8	3/4	7/16	5/8	3/8	1/2	1/2	5/8
1 3/4	2 1/8	1 3/4	3/4	7/16	5/8	3/8	1/2	1/2	5/8
1 1/2	2 5/16	2	3/4	7/16	5/8	3/8	1/2	1/2	5/8
1 5/8	2 1/2	2 1/8	7/8	1/2	11/16	7/16	9/16	1/2	5/8
1 3/4	2 11/16	2 1/4	7/8	1/2	11/16	7/16	9/16	1/2	5/8
1 7/8	2 7/8	2 3/8	7/8	1/2	11/16	7/16	9/16	1/2	5/8
2	3 1/16	2 1/2	7/8	1/2	11/16	7/16	9/16	1/2	5/8
2 1/2	3 3/4	2 7/8	1	5/8	11/16	1/2	11/16	5/8	3/4
3	4 1/1	3 1/8	1	5/8	11/16	1/2	11/16	5/8	3/4
4	6	4	1 1/4	3/4	1	5/8	7/8	3/4	1
5	7 1/2	5	1 1/2	7/8	1 1/8	3/4	1	7/8	1 1/8
6	9	6	1 3/4	1	1 1/4	13/16	1 1/8	1	1 1/4

(*) Fierro dulce y aleaciones.

(**) Fierro fundido.

(Continuará)

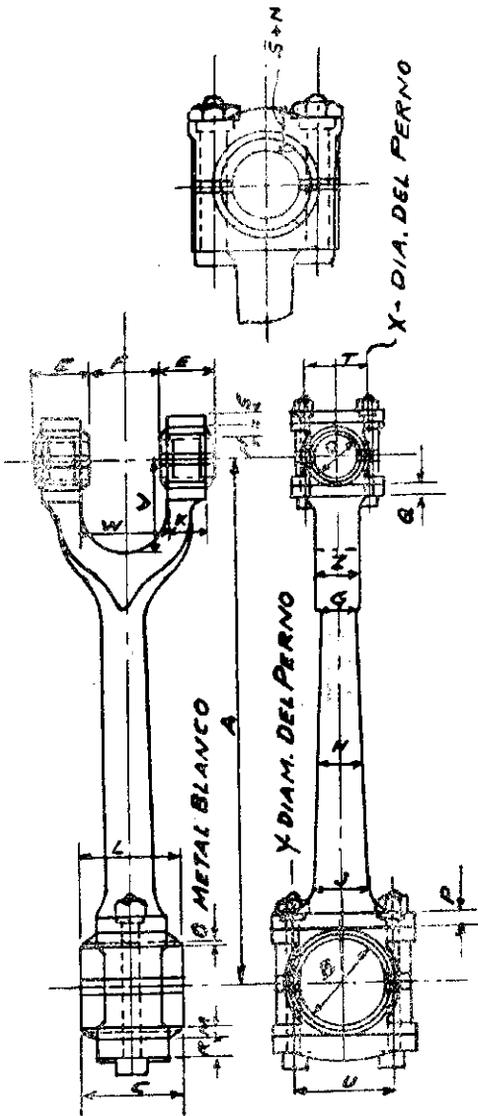


FIG. 23

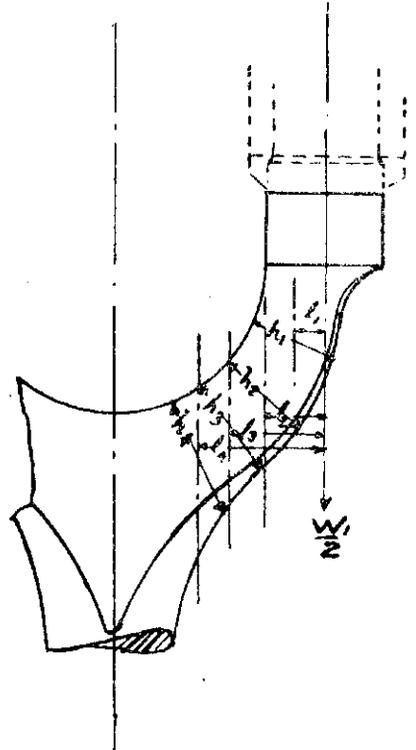


FIG. 24

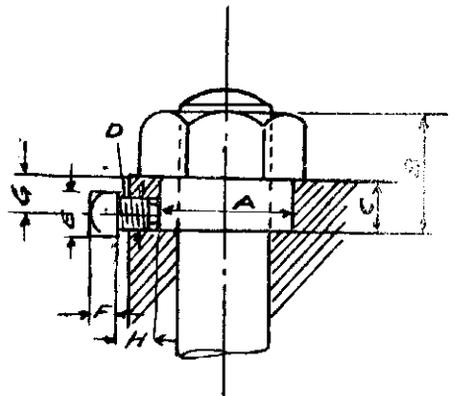


FIG. 25