

# Técnica

277

## Cálculo de una caldera

Trabajo presentado por los estudiantes de **motores industriales** al profesor doctor Antonio Villa C.

**Problema:** Se quiere producir 500 H.P. de fuerza efectiva usando una máquina de vapor de expansión y condensación. El combustible es hulla de 6.000 calorías y se deja a elección el tipo de calderas y el número de ellas. Determinar:

- A).—Razones por las cuales se prefiere determinado tipo de caldera.
- B).—Superficie de caldeo **S** y emparrillado **E** en cada unidad.
- C).—Cantidad de combustible en jornada de 24 horas, con un coeficiente de trabajo igual a 0.7.
- D).—Cálculo de la chimenea y conducto de humos.
- E).—Diámetro del tubo que ha de conducir el vapor a 40 metros de distancia.

### Primera solución. — Discusión

A).—En donde el problema del espacio no es de importancia, las calderas de tubos hervidores tienen sus ventajas. La sencillez del manejo y limpieza, la constancia de producción del vapor, la disminución de los riesgos de explosión....., en fin, todas las ventajas de las grandes masas de agua —lo mismo que sus desventajas— las tiene esta caldera.

Sin embargo, los hervidores horizontales y de gran tamaño, se deterioran fácilmente y son costosos, de modo que una caldera que tenga la limpieza y rendimiento de la de hervidores, sin presentar la desventaja anotada, sería una buena solución para este caso.

La caldera de hogar interno tipo Lancaster-Galloway es la más moderna de los tipos de hervidores. Los tubos Galloway no son otra cosa que hervidores verticales colocados en situación privilegiada



en cuanto a su posibilidad de caldeo. El hogar interno doble en este tipo, es una ventaja económica, si comparamos las pérdidas de calor—absorción de la mampostería— en los hogares independientes, con las casi despreciables de los hogares interiores.

B).—Adoptado el tipo de caldera Lancaster-Galloway, se da una regla práctica para conocer la superficie total de caldeo, de la unidad o unidades que vayan a montarse.

La regla es esta: "En condiciones de un buen aprovechamiento de vapor en la máquina motriz, la superficie de caldeo en metros cuadrados será sensiblemente igual a la potencia en H. P.". Es claro que esta regla general es sólo una aproximación práctica expresada así:

$$N = S$$

Donde **S** es metros cuadrados de superficie de caldeo, y **N** es H. P. efectivos.

Cuando el motor es sólo de trabajo intermitente, es decir, cuando no suministra durante la jornada el máximo de potencia continuamente, **S** puede ser igual a  $N/1,5$ , lo que quiere decir que 0,66 metros de superficie de caldeo producirán vapor suficiente para obtener 1 H. P. en el motor. Esto es bastante aceptable en nuestro caso, puesto que será una batería y no una unidad aislada la que va a suministrar el vapor.

Los caballos efectivos son 500 los cuales requieren una superficie de caldeo igual a:  $S = 0,66 \times 500 = 330 \text{ metros}^2$

Escogiendo ahora una unidad de 90 metros<sup>2</sup> se tendrá:

$$\frac{330}{90} = 4 \text{ calderas.}$$

Como es buena práctica tener una unidad de reserva, el número total será de 5.

**Distribución de la superficie de caldeo en cada unidad.**—Supongamos a la caldera un diámetro exterior de 2 metros y una longitud de 10 metros. Como es costumbre admitir que la superficie exterior estará bañada por los gases que circulan por los corredores de retorno, sólo en sus  $\frac{2}{3}$ , la superficie de caldeo debido al cuerpo cilíndrico será:  $\frac{2}{3} \pi 10 = 41,8 \text{ metros}^2$

Los 2 tubos hogares deben tener un diámetro mínimo de 0,80 me-



tros y la misma longitud del cuerpo cilíndrico; su superficie será, siendo su diámetro igual a 0,75 metros, igual a  $2\pi 0,75 \times 10 = 47 \text{ mts.}^2$

Los tubos Galloway se deben colocar de modo que completen el área total necesaria; de modo que tomando las dimensiones estándar para tales tubos, a saber:  $D = 0,30$ ,  $d = 0,15$ ,  $d^m = 0,225$ ,  $l = 0,57$ ; se verá cuántos tubos se precisan para cada tubo hogar. Como en estos sólo se toma como superficie de caldeo la mitad de la superficie real, tendremos, poniendo 5 pares en cada hogar:

$$S = \frac{5 \times 2 \times 0,225 \times 0,75 \times 3,14}{2} = 5,3 \text{ metros}^2.$$

La S total será  $41,8 + 47,1 + 5,3 = 94,2 \text{ metros}^2$ .

**Indicaciones para la colocación de los tubos.**—3 pares en el conducto tubular de cada hogar, a no menos de 2 metros del término del emparrillado en el primer tubo (Hute) en posición vertical. Los demás colocados a espacios uniformes en los 6 metros restantes del tubo hogar, invirtiendo cada vez su sentido de conicidad, y girando su eje  $30^\circ$  a derecha e izquierda sucesivamente.

**Emparrillado.**—Si se tiene un hogar bien diseñado, con buen tiro de aire, su capacidad de consumo normal de combustible, puede ser de 70 Kgs. de carbón por metro<sup>2</sup> y por hora.

Una caldera del tipo adoptado, tiene una capacidad media de evaporación de 14 Kgs. de vapor por hora y metro<sup>2</sup> de S. (Moulán, tabla, pág. 556). Si el carbón de que se dispone tiene 6.000 calorías, para vapor a 8 atmósferas se consume 657,8 cal. por kg.-hora vaporizado (Moulán, pág. 464) y de las 6.000 cal. sólo se aprovecha

$$6.000 \times 0,7 = 4.200, \text{ luego un kg. de carbón evaporará } \frac{4.200}{657,8} = 6,3$$

kgs.-hora de vapor.

Aproximando a 6 la cifra anterior, resulta el dato acorde con la noción experimental de que en condiciones normales por cada 1.000 calorías se vaporiza un kg de agua. Si es aceptado que puede quemarse en un hogar 70 kgs. de carbón por hora y metro<sup>2</sup>, la proporción de vapor por metro<sup>2</sup> será:  $6 \times 70 = 420 \text{ kgs. de vapor por hora y metro}^2$  de emparrillado. Pero la superficie de caldeo tiene una pro-



ducción media de 14 kilos por metro<sup>2</sup> de **S**. Luego por cada metro<sup>2</sup> de emparrillado, deben corresponder  $\frac{420}{14} = 30$  metros<sup>2</sup>. Para unidades de 90 metros<sup>2</sup> corresponde un emparrillado de  $\frac{90}{30} = 3$  metros<sup>2</sup>.

Como cada unidad tiene 2 hogares, corresponde a cada hogar una superficie de 1,50 metros<sup>2</sup> lo que equivale a un emparrillado de 2 metros de largo por 0,75 metros de ancho, suponiendo que el tendido de barras se haga sobre el diámetro del tubo hogar, lo que en este caso puede hacerse, ya que para el desarrollo de la llama y el cenicero quedan 0,37 metros para cada uno.

El emparrillado constará de 2 tendidos de barrotes de 1 metro de largo por 2,5 a 3 cms. de grueso, y un ancho libre de 1,2 cms.. Se debe dejar un espacio de 6 m. m. para la dilatación. La relación de espacio total de emparrillado será de 1/5, de modo que el espacio libre para los dos hogares será de  $\frac{1}{5} \times 3 = 0,60$  metros<sup>2</sup>, sección que puede muy bien aplicarse al cálculo de la chimenea, así como también puede ser la sección del conducto de humos de cada unidad hacia el colector que va a la chimenea.

C).—El consumo de combustible será:

$$70 \times 4 \times 5 = 840 \text{ kgs.-hora.}$$

y por jornada de 24 horas:  $840 \times 24 = 20.160$  kgs.

D).—**Chimenea**.—Si se adopta la regla práctica de que la chimenea, cuando su altura no pasa de 30 metros, debe tener una sección igual a la suma de los espacios libres de los distintos emparrillados, se tiene en este caso para las 4 unidades:

$$4 \times 0,6 = 2,4 \text{ metros}^2.$$

como sección de la chimenea, lo cual da una sección un poco exagerada, ya que se supone que el registro casi nunca estará del todo abierto.

La fórmula de Montgolfier: 
$$S = 0,01 \frac{n}{\sqrt{h}}$$

donde:

S es el área,

n son los kgs. de combustible por hora,

h es la altura en metros.

La altura máxima está dada, bien por las ordenanzas locales o por la altura de los edificios adyacentes.



Si se escoge por ejemplo  $h = 20$  metros,  $S$  será  $1,9$  metros<sup>2</sup>, es decir,  $2$  metros<sup>2</sup>.

Calculados de ahí los conductos de humo, resulta que cada uno debe tener un área de  $2 \div 4 = 0,5$  metros<sup>2</sup>, cifra muy aproximada a la de  $0,6$  supuesta atrás. Si a la chimenea se le da la sección circular, su diámetro será:

$$D = \sqrt{\frac{2 \times 4}{\pi}} = 1,60 \text{ metros.}$$

La disposición de la sala de calderas, y la localización de chimenea, conductos de humo y colector de vapor, será semejante a la que trae Moulan, pág. 710.

E).—**Tubería de vapor.**—Tendrá una longitud de  $40$  metros, en los cuales la pérdida de presión es despreciable, si la tubería se hace con buen aislamiento térmico y demás condiciones ventajosas, y se puede compensar con una pequeña sobrepresión en la caldera, cosa ya prevista con los amplios márgenes de seguridad en los valores medios que se han usado en la solución del problema.

El diámetro de la tubería que ha de conducir el vapor a las distintas unidades se calcula buscando:

a).—El total en peso del vapor empleado por hora, a saber:

Si  $14$  kgs-hora dan un H. P. hora, los  $500$  necesitan  $14 \times 500 = 700$  kgs-hora de vapor.

b).—La velocidad económica, es decir, a la cual el vapor a  $8$  atms. pierde el mínimo a su paso por la tubería: En la tabla de Moulan, interpolando entre  $6$  y  $10$  atms. absolutas se obtiene una velocidad económica de  $12,5$  metros por segundo.

c).—El peso de un metro<sup>3</sup> de vapor a la temperatura y presión dadas:  $4,3$  kgs.

Con esto el diámetro del tubo colector de vapor será:

$$D = \sqrt{\frac{4 P}{3.600 \pi v d}}$$

donde:

$P$  es el peso total del vapor por hora.

$v$  es la velocidad económica.

$d$  es el peso de  $1$  metro<sup>3</sup>



Reemplazando:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 7.000}{3.600 \times 3,14 \times 12,5 \times 4,3}}$$

El suministro de agua será de 7 metros<sup>3</sup> por hora.

### **Segunda solución**

A).—Baterías de calderas Babcock-Wilcox para la misma potencia. En el caso de que las grandes dimensiones de las calderas de gran masa de agua parezcan inconvenientes, se puede recurrir a las calderas tubulares, de las cuales la Babcock-Wilcox es muy usada por su eficiencia y sencillez de montaje. Como toda caldera tubular produce gran cantidad de vapor en un espacio mínimo, su tamaño es reducido y su limpieza, aunque más compleja que en las calderas anteriores, tampoco ofrece muchas complicaciones. Debe tenerse, eso sí, en buen estado de sostenimiento, porque es sabido que su rendimiento disminuye notablemente con los depósitos de hollín y con las incrustaciones interiores provenientes de malos combustibles y malas aguas.

Los datos que sirven para los cálculos siguientes se han extraído del manual de Hutte, y son bastante generales y susceptibles por tanto de variaciones para el caso más particular de calderas.

En este tipo de calderas puede obtenerse una evaporación de 30 kgs.-hora de vapor por metro cuadrado de superficie de caldeo, y una razón o proporción de superficie de caldeo a H. P. efectivos de  $\frac{1}{2}$ .

Si queremos producir vapor a 9 atms. absolutas tendremos:

Calorías absorbidas por cada kilogramo de vapor a esta presión = 660,11 cal.

Calorías útiles de cada kg. de carbón, suponiendo un rendimiento térmico de 0,7 serán:  $6.000 \times 0,7 = 4.200$ .

Luego por cada kg. de carbón podremos vaporizar

$$4,200 \div 660,11 = 6,4'$$

lo cual puede aproximarse a 6 kgs. de agua.

B).—En las parrillas normales de este tipo de calderas, deben poderse quemar sin producir recargo de funcionamiento, alrededor de 90 kgs. de carbón por metro<sup>2</sup> de emparrillado. Tendremos entonces que por metro cuadrado de emparrillado se producirán  $90 \times 6 = 540$



kgs. de vapor. Y como arriba anotamos que el vapor producido por cada metro cuadrado de superficie de caldeo era de 30 kgs., obtendremos como relación entre la superficie de caldeo y la de emparrillado igual a  $540 \div 30 = 18$ , es decir, la superficie de caldeo será 18 veces mayor que la de emparrillado.

Si la potencia del motor es de 500 H. P. y se admite la relación  $S = N/2$ , se tendrá  $S = 250$  metros<sup>2</sup> y para superficie de emparrillado  $250 \div 18 = 13,88$ , es decir, más o menos 14 metros<sup>2</sup>

Si se adopta un tipo de caldera de 90 metros<sup>2</sup> de superficie de caldeo, tendremos  $250 \div 90 = 2,8$ , esto es, 3 calderas, y agregando otra para casos de emergencia, se necesitan 4 calderas.

La superficie de emparrillado de cada una de estas calderas será de  $90 \div 18 = 5$  metros<sup>2</sup>. Entonces sus dimensiones serán de 1,80 metros de profundidad por un ancho de 2,8 metros, que se dotará con tres puertas de 0,45 metros de ancho por 0,30 metros de alto, espaciándolas 0,95 metros.

**Area ocupada.**—Según Hütte para las calderas del tipo B-W se puede tomar un promedio de 0,15 metros<sup>2</sup> de superficie por cada metro<sup>2</sup> de superficie de caldeo; por tanto, nuestras calderas tendrán cada una.

$$90 \times 0,15 = 13,50 \text{ metros}^2.$$

Si se supone que el ancho para cada caldera y la estructura que la rodea es de 3,30 metros darán un largo de 3,90 metros.

**C).—Consumo de combustible por hora.** Será.

$$5 \times 3 \times 90 = 1.350 \text{ kgs.}$$

Por jornada de 24 horas será  $1.350 \times 24 = 32.300$  kgs.

**D).—Chimenea.**—Hemos dicho que cada caldera tiene 5 metros<sup>2</sup> de emparrillado; y suponiendo que el carbón sea por ejemplo del tipo Amagá, la relación de área vacía a área total de emparrillado será de  $\frac{1}{4}$ ; por tanto el área o superficie libre de cada caldera será  $\frac{5}{4}$ , o sea, 1,3 metros<sup>2</sup>. Esta será la sección del conducto de humos, y como son tres calderas, el área o sección de la chimenea será de  $1,3 \times 3 = 3,9$  metros<sup>2</sup>.

Usando como en el caso anterior la fórmula de Montgolfier, suponiendo una altura de 30 metros, tendremos:

$$S = 0.01 \frac{n}{\sqrt{h}} = \frac{0.1 \times 90 \times 5 \times 3}{\sqrt{30}} = 24 \text{ metros}^2$$



De donde el diámetro de la chimenea será:

$$D = \sqrt{\frac{2,4 \times 4}{\pi}} = 1.75 \text{ metros.}$$

E).—Este punto se resuelve de la misma manera que en la primera solución.

**Cámara de agua.**—Como por metro<sup>2</sup> de superficie de caldeo se evaporan por hora 30 kilos, en los 90 metros<sup>2</sup> de caldera se evaporarán por hora  $90 \times 30 = 2,7$  metros<sup>3</sup> de agua, los cuales serán el volumen de la cámara.

278

## ESTUDIO SOBRE EL COSTO INDUSTRIAL DEL TRANSPORTE DE CALIZA EN EL F. C. DE A. — AÑO DE 1939

Trabajo presentado por los estudiantes Rafael Duarte; Oscar Uribe, César Cano A. y Simón Pabón D., al profesor de Explotación de Ferrocarriles, Dr. Roberto Arango.

El precio de costo industrial de un artículo determinado es fácil de averiguar si se tiene itinerario fijo y condiciones de remolque fijas, ya que en tales casos puede imputar directamente los gastos que realmente le corresponden. Por ejemplo, cuando el artículo se transporta en un tren especial o cuando determinada cantidad de él se transporta en un tren de carga determinado es decir, cuando hay cierta regularidad de peso y frecuencia en su transporte.

En el caso de transporte de caliza en el Ferrocarril de Antioquia, no existe regularidad alguna, ya que aquél se verifica en góndolas que se agregan indiferentemente a todos los trenes, exceptuando el especial de pasajeros, y aún se presenta el caso de góndolas que hacen el recorrido en varios días y en varios trenes; así, no hay transporte regular, y por tanto es prácticamente imposible analizar el precio de costo industrial en función de la unidad tren-kilómetro, ni discriminar las cargas permanentes correspondientes a este transporte; además, las estadísticas del Ferrocarril no llevan clasificación de carga para cada tren, que permita conocer la composición de un tren promedio.