

siendo R el radio de ella y L su total longitud, por lo cual se tiene,  $\frac{2}{3} \times 3'1416 \times R \times L = 10'4$  ms. cuad., y de esta igualdad resulta

$$L = \frac{10'4}{\frac{2}{3} \times 2 \times 3'1416 \times R} = \frac{10'4}{\frac{2}{3} \times 2 \times 3'1416 \times 0'5} = 4'966 \text{ metros.}$$

De esta longitud corresponde 0'50 ms. á cada extremidad esférica y por esto la longitud de la parte cilíndrica será  $4'966 - 2 \times 0'50 = 4'966 - 1'00 = 3'966$  metros.

4.º Hállese el volúmen total de la misma caldera, y determínese la cantidad de agua y de vapor que contiene.

Volúmen de la parte cilíndrica  $3'1416 \times (0'50)^2 \times 3'966 = 3'1149$  metros cúbicos.

Volúmen de las extremidades esféricas  $= \frac{4}{3} \times 3'1416 \times (0'50)^3 = 0'5236$  metros cúbicos.

El volúmen total de la caldera será  $= 3'1149 + 0'5236 = 3'6385$  metros cúbicos que equivalen á 3638 litros con 5 decilitros.

De este volúmen corresponden los dos tercios al agua y el tercio restante estará ocupado por el vapor. Por manera, que la caldera en cuestion contendrá 2425 litros 7 decilitros de agua y 1212 litros 8 decilitros de vapor.

En la determinacion de las dimensiones de una caldera cilíndrica sin bullidores será bueno hacer el cálculo suponiendo que el agua en el interior debe llenar los dos tercios de la capacidad total, pero la superficie caldeada solo se hará llegar hasta una altura que corresponda á los dos tercios del diámetro. En este caso el arco correspondiente á la superficie expuesta al fuego será de  $218^\circ 56' 30''$ , y estará expresado por  $1'91114 \times D$ , y el arco restante valdrá  $141^\circ 3' 30''$  viniendo representado por  $1'23046 \times D$ . De modo, que la superficie caldeada se ha-

llará por la formula  $S = 1'91114 \times D \times L$ , siendo D el diámetro de la caldera, L la longitud de la misma, y S la superficie expuesta al fuego, expresado todo en metros.

Cuanto mayor sea la capacidad que ocupe el vapor en las calderas, mas regular será la tension y se despojará fácilmente del agua en estado versicular que mecánicamente arrastra consigo al desprenderse del agua en ebulicion. Á este fin algunos constructores modernos, y en especial los ya citados MM. Cail, añaden á las calderas un gran depósito ó recipiente á manera de cúpula para obtener esa purificacion: estas capacidades adicionales constituyen el único remedio conocido hasta el dia para evitar que el agua del generador vaya hasta los cilindros.

Las calderas de hierro colado producen por término medio 35 kg. de vapor por hora y por metro cuadrado de superficie expuesta al fuego; las de Watt 38 kg., y las de Woolf dan sobre 36 kg. Por estas relaciones se hallará aproximadamente la extension de la superficie expuesta al fuego cuando se conozca la cantidad de vapor que debe producirse en una hora, y dada la superficie caldeada se sabrá la cantidad de vapor producido en igual tiempo.

Debe procurarse que la longitud de la caldera equivalga próximamente á cinco veces su diámetro, pues esta proporcion es la mas propia y favorable á la accion de la llama y para resistir la presion interior del vapor. El diámetro nunca debe exceder de un metro, y en otro caso será preferible reunir dos ó mas calderas.

*Resistencia y espesor de las calderas.* Para las calderas que deben producir el vapor á una tension mayor de dos atmósferas se emplea generalmente, como queda indicado, la forma de un cilindro (fig. 82) terminado por semi-esferas de igual diámetro.

Las calderas se construyen con planchas de hierro lami-

nado, con planchas de cobre rojo y algunas veces de hierro colado.

Las calderas de cobre resisten ventajosamente á los golpes de fuego, pero las de hierro colado son muy susceptibles de romperse por cambios bruscos de temperatura. Por esto son de uso mas comun las calderas de plancha de hierro laminado.

El espesor de la plancha en las calderas debe regularse segun la extension de su diámetro y con arreglo á la tension ó fuerza elástica del vapor que deben producir. Por esto la ordenanza francesa previene que el espesor de la plancha en las calderas cilindricas sea determinado por la fórmula,  $e=1.8 \times D \times (n-1) + 3$ , en la cual D representa el diámetro de la caldera en metros, y n la presion del vapor en atmósferas: e es el espesor de la plancha en milímetros.

Ejemplo: Hallar el espesor de la plancha para una caldera cilindrica cuyo diámetro es de un metro, y el vapor debe producirse á la tension de 4 atmósferas.

Por la fórmula será  $e=1.8 \times 1 \times (4 - 1) + 3 = 8.4$  milímetros.

Los constructores pueden usar de las siguientes tablas calculadas expreso.

TABLA DEL ESPESOR EN MILÍMETROS QUE DEBE DARSE Á LAS CALDERAS CILÍNDRICAS DE PLANCHA DE HIERRO Ó DE COBRE LAMINADO.

Diámetros de las calderas.	TENSION DEL VAPOR EN ATMÓSFERAS.						
	2 atmósf.	3 atmósf.	4 atmósf.	5 atmósf.	6 atmósf.	7 atmósf.	8 atmósf.
	Milimet.	Milimet.	Milimet.	Milimet.	Milimet.	Milimet.	Milimet.
0.55 met.	3.90	4.80	5.70	6.60	7.50	8.40	9.30
0.55 »	3.99	4.98	5.97	6.96	7.95	8.94	9.93
0.60 »	4.08	5.16	6.24	7.32	8.40	9.48	10.56
0.65 »	4.17	5.34	6.51	7.68	8.85	10.02	11.19
0.70 »	4.26	5.52	6.78	8.04	9.30	10.56	11.82
0.75 »	4.35	5.70	7.05	8.40	9.75	11.10	12.45
0.80 »	4.44	5.88	7.32	8.76	10.20	11.64	13.08
0.85 »	4.53	6.06	7.59	9.12	10.68	12.18	13.71
0.90 »	4.62	6.24	7.86	9.48	11.10	12.72	14.34
0.95 »	4.71	6.42	8.13	9.84	11.55	13.26	14.97
1.00 »	4.80	6.60	8.40	10.20	12.20	13.80	15.60

TABLA DE LAS DIMENSIONES DE LAS CALDERAS CON BULLIDORES DE PLANCHA DE HIERRO Ó DE COBRE LAMINADO, SEGUN EL NÚMERO DE CABALLOS QUE REPRESENTA LA TENSION DEL VAPOR.

Número de caballos.	Longitud de la caldera.	Diámetro de la caldera.	Longitud de cada bullidor.	Diámetro de cada bullidor.	Espesor de la extremidad esférica de la caldera.	Espesor de la extremidad esférica de los bullidores.
	Metros.	Metros.	Metros.	Metros.	Milímetros.	Milímetros.
2	1.65	0.66	1.75	0.28	8	8
4	2.10	0.70	2.20	0.30	8	8
6	2.45	0.75	2.60	0.35	9	10
8	2.80	0.80	2.95	0.35	10	10
10	3.25	0.80	3.40	0.35	10	10
15	5.00	0.80	5.15	0.44	10	10
20	6.80	0.85	7.00	0.50	10	10
25	8.50	0.85	8.65	0.50	10	10
30	9.20	1.00	9.50	0.60	10.5	10
40	10.00	1.10	10.38	0.60	11	10

Por la primera de estas dos tablas se halla el espesor de la plancha de hierro ó de cobre laminado para la caldera cuando se conoce el diámetro y la tension del vapor en el interior de la misma; y en la segunda está combinada la fuerza en caballos con la longitud y diámetro de la caldera y de los bullidores para fijar el espesor de su extremidad esférica.

Con el fin de que la plancha transmita convenientemente el calórico se hará que el grueso ó espesor nunca exceda de 14 milímetros, y en caso de que la fórmula diese un resultado mayor debería disminuirse el diámetro de la caldera hasta llegar al valor indicado.

*Exámen de las calderas.* Para asegurarse de la bondad y resistencia de las calderas de plancha de hierro ó cobre, se llenan de agua fría y se sujetan por medio de una prensa hidráulica ó de una bomba impelente á una presión triple de la nominal que deben soportar, por cuyo medio se conoce si hay defecto en el metal, si este es homogéneo y si las planchas están bien unidas para impedir que el agua y el vapor tengan alguna salida por las juntas. Si las calderas son de hierro colado la presión de prueba deberá ser cinco veces mayor que la tensión efectiva del vapor.

**PIEZAS ACCESORIAS DE LAS CALDERAS.** Para prevenir las explosiones y evitar las desgracias consiguientes, está mandado que todas las calderas vayan provistas de los aparatos que señalan los cambios de temperatura y de la tensión del vapor, así como la falta ó exceso de agua. Estos aparatos son las válvulas de seguridad, los manómetros, los flotantes y los silvatos de alarma.

**VÁLVULAS DE SEGURIDAD.** Las válvulas llamadas de seguridad sirven en las calderas para facilitar la salida del vapor cuando su tensión excede á la presión normal establecida. El disco de estas válvulas tendrá solo un milíme-

tro de contacto sobre el asiento que las recibe y su sección deberá ser tal que pueda dar salida á la mayor cantidad de vapor que produzca la caldera.

Como la potencia evaporatoria de una caldera depende de la extensión de la superficie expuesta al fuego y de la tensión del vapor en atmósferas, por esto la fórmula adoptada para calcular el diámetro de la válvula de seguridad comprende estas dos condiciones, y es la siguiente:

$$D=2.6 \times \sqrt{\frac{s}{n-0.412}}$$

en la cual *D* representa el diámetro de la válvula en centímetros; *s* la superficie expuesta al fuego en metros cuadrados, y *n* la tensión del vapor en atmósferas.

Cuando la tensión del vapor en las calderas no llega á dos atmósferas, se le dán á la válvula de seguridad 5 ó 6 centímetros cuadrados de superficie por cada caballo de fuerza. Será bueno dar mayor diámetro á la válvula ó poner dos en una misma caldera.

Las válvulas de seguridad se pueden sujetar colocando directamente sobre ellas el peso correspondiente á la presión interior; pero generalmente se acostumbra hacer uso de una palanca de segunda especie para producir el mismo efecto con menos carga.

Para establecer una válvula de seguridad se procederá como sigue:

1.º *Del número de atmósferas que representa la tensión del vapor se resta 0.412; se divide la superficie calentada por esta diferencia, y la raíz cuadrada del cociente se multiplica por 2.6. El resultado será el diámetro de la válvula en centímetros.*

2.º *Se calcula la superficie de la válvula en centíme-*

tros cuadrados y se multiplica por el número de atmósferas menos una y el resultado por 1'0335 kg. El producto será la fuerza en kg. que tiende á levantar la válvula.

3.º Se halla el peso con que debe cargarse la palanca para equilibrar la fuerza del vapor sobre la válvula, multiplicando esta fuerza por el brazo corto de la palanca y dividiendo el producto por el brazo mayor, que es la total longitud de la misma palanca.

Ejemplo : Hallar todo lo relativo á la válvula de seguridad para una caldera cilíndrica con 16 metros cuadrados de superficie expuesta al fuego, siendo la tension del vapor de 4 atmósferas.

Por la fórmula será,  $D=2'6 \sqrt{\frac{16}{4-0'412}} = 2'6 \times 2'112 = 5'49$  centímetros.

Superficie de la válvula  $= 0'7854 \times (5'49)^2 = 23'672$  centímetros cuadrados.

Como sobre la válvula carga la presión atmosférica destruirá una de la tension del vapor y deberá equilibrarse solamente la presión de 3 atmósferas, que dará,  $3 \times 1'0335 = 3'1005$  kilogramos por centímetro cuadrado.

Para toda la válvula será,  $23'672 \times 3'1005 = 73'395$  kg.

Ahora, suponiendo que la palanca tiene 80 centímetros de longitud y que la válvula corresponde á 16 centímetros del punto de apoyo se tendrá el peso con que deberá ser cargada por la proporción ;  $P : 73'395 : : 16 : 80$ , que da  $P = 73'395 \times 16 \div 80 = 14'68$  kilogramos.

Es decir, que el diámetro de la válvula será de 5'49 centímetros ; la presión con que tenderá á levantarse, de 73'395 k., y el peso que le hará equilibrio por medio de

la palanca, de 14'68 kg. sin contar con el peso de esta.

Si se da conocido el peso con que debe sujetarse la palanca se podrá calcular la longitud de esta empleando la misma proporción anterior.

Las válvulas de seguridad en las locomotivas se sujetan por medio de muelles cuya tensión el maquinista puede aumentar ó disminuir á voluntad, pero siempre con sujeción á una escala graduada.

FLOTANTE. Las explosiones de las calderas son producidas muchas veces por el descenso del nivel del agua en su interior y por la falta de práctica ó de inteligencia del que las cuida. En efecto, si por falta de la alimentación conveniente el agua del interior no cubre las paredes de la caldera directamente expuestas á la acción del fuego, la temperatura de estas paredes se eleva prontamente hasta enrojecerlas. Si en este caso llega á la caldera una porción de agua fría, se forma súbitamente gran cantidad de vapor á tensión muy elevada, y por el considerable esfuerzo que produce puede ocasionar una explosión.

El flotante sirve para prevenir tan funestos efectos señalando al encargado de vigilar la caldera la altura del nivel del agua en su interior, para que aumente ó disminuya convenientemente la alimentación.

El flotante *b* (fig. 82) es una piedra de forma cilíndrica circular ú oval que se sumerge la mitad de su grueso en el agua : se halla suspendida por un hilo de acero ó de cobre, de 3 á 4 milímetros de diámetro, de una palanca *h* que tiene la forma de un balancin con sector : el contrapeso hace que el balancin permanezca horizontal cuando el nivel del agua se halla á la altura correspondiente. En esta disposición, si el nivel baja, la piedra pierde en parte el apoyo del agua y hace subir el contrapeso, y si el nivel sube por un exceso de agua hace perder peso al flo-

tante y baja el contrapeso. El encargado abrirá ó cerrará la llave de paso para activar ó disminuir la alimentacion segun convenga.

Por el principio de Arquímedes, expuesto en la estática, se sabe que el flotante pierde tanto de su peso como es el peso del volúmen de agua que desaloja, y por esta razon atendiendo á la ley de la palanca se hallará el contrapeso para equilibrarlo por la fórmula  $q = (P - p) \times a \div b$ , en la cual  $q$  es el contrapeso en kilogramos;  $P$  el peso del flotante y  $p$  el peso del volúmen de agua que desaloja, tambien en kilogramos;  $a$  el brazo del balancin correspondiente al flotante, en centímetros, y  $b$  el brazo del contrapeso igualmente en centímetros.

Hallar el contrapeso para un flotante de 8 kg., sabiendo que el agua que desaloja pesa 3'6 kg., que el brazo de la palanca correspondiente al flotante es de 24 centímetros, y el del contrapeso de 18 centímetros.

Por la fórmula se tiene  $q = (8 - 3'6) \times 24 \div 18 = 5'87$  kg.

De modo que el contrapeso será de 5'87 kilogramos próximamente, el cual deberá corregirse de la diferencia resultante del peso propio del balancin ó palanca.

En Francia ó Inglaterra está prevenido que la altura del nivel del agua en las calderas sea indicado por un flotante de silvato, y por esto las calderas fijas se arman de un silvato de alarma para indicar el nivel máximo y el mínimo á que puede llegar el agua en su interior.

En las locomotivas se acostumbra unir á la caldera un tubo  $f$  de vidrio bien reforzado de 10 á 12 centímetros de diámetro adaptado á dos tubos recurvos que el uno comunica con el vapor y el otro con el agua (fig. 82). En los buques se usan dos tubos indicadores, uno á la derecha y otro á la izquierda del hornillo, y la comparacion simul-

tánea de los dos señala el nivel del agua cualquiera que sea la inclinacion del buque.

Los *silvatos* por medio de los cuales avisan los *flotantes de alarma*, tienen por objeto advertir al encargado que el nivel del agua en el interior de la caldera ha bajado mas de lo que debia.

Los flotantes de alarma son de diversas formas pero consisten principalmente en un flotante comun dispuesto de modo que al bajar el nivel interior hasta el límite de la superficie calentada pone en movimiento el tapon de un orificio dejando salir el vapor que al chocar con los bordes de un timbre ó de una lámina metálica vibrante produce un ruido muy agudo que no deja de oirse á distancia.

Se usan tambien en las calderas unos discos llamados rondelas fusibles que se descomponen con el calor á la temperatura para que han sido construidas abriendo paso al vapor á fin de que salga sin causar explosion. Se componen de bismuto, plomo y estaño: la tabla siguiente determina el punto de fusion de una rondela ó válvula fija segun la proporcion en que entran los tres expresados metales.