



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera

Apellidos, nombre	Barrera Puigdollers, Cristina ¹ (mcbarpu@tal.upv.es) Betoret Valls, Noelia ¹ (noebevalal.upv.es) Castelló Gómez, Marisa ¹ (mcasgo@upvnet.upv.es) Pérez Esteve, Édgar ¹ (edpees@upv.es)
Departamento	¹ Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València



1 Resumen de las ideas clave

En este artículo se describe el funcionamiento básico de una caldera, las partes que la integran y los dispositivos que garantizan su seguridad y efectividad. También se muestran los diferentes tipos de calderas que existen y se introducen algunos aspectos básicos relacionados con el cálculo de la potencia nominal de una caldera de vapor.

2 Introducción

Una caldera es un recipiente metálico cerrado que, aplicando el calor de algún combustible sólido, líquido o gaseoso, produce vapor o calienta un fluido a una temperatura superior a la del ambiente y presión por encima de la atmosférica. Por tratarse de un recipiente a presión, suele ser de acero al carbono y dispone de dispositivos de seguridad. Además, debe ser sometida a inspecciones y pruebas periódicas y ser manipulada por operarios capacitados. Por último, el recinto o sala donde se instale la caldera deberá reunir una serie de requisitos, definidos en el Reglamento de equipos a presión y las instrucciones técnicas complementarias [1].

El principio básico del funcionamiento de las calderas consiste en una **cámara** donde, con la ayuda del aire comburente, se produce la combustión y un **intercambiador de calor** donde el calor producido por la combustión se transmite al fluido caloportador, encargado a su vez de llevar el calor a los puntos de consumo. En el calentamiento del fluido caloportador de una caldera intervienen los tres mecanismos de transmisión de calor reconocidos [2]:

- **conducción**, por contacto directo entre la llama y el cuerpo de la caldera que contiene el fluido caloportador.
- **radiación**, desde la llama a las paredes del hogar donde tiene lugar la combustión.
- **convección**, desde los humos calientes producidos en la combustión a las partes metálicas de la caldera.

Las calderas son utilizadas en multitud de aplicaciones, tanto en entornos residenciales y terciarios, como en instalaciones industriales. El uso final del calor generado condiciona directamente la forma de las calderas y las instalaciones auxiliares que precisan.

3 Objetivos

Una vez que el alumno se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Explicar el funcionamiento básico de una caldera.
- Identificar las diferentes partes de una caldera y describir las funciones de cada una de ellas.
- Enumerar y describir las funciones de los distintos dispositivos de seguridad necesarios para el funcionamiento correcto y seguro de una caldera.
- Clasificar las calderas atendiendo a diferentes criterios.
- Calcular la potencia nominal de una caldera de vapor.



3.1 Partes de una caldera

Aunque la estructura real de una caldera dependerá del tipo, de forma general todas las calderas constan de las siguientes partes (imagen 1):

- **quemador:** sirve para quemar el combustible y producir la llama.
- **hogar o cámara de combustión:** alberga el quemador y en su interior se realiza la combustión del combustible utilizado y la generación de los gases calientes. Es donde se alcanzan las temperaturas más altas, próximas a los 2000 °C.
- **tubos de intercambio de calor:** a través de su superficie se efectúa el flujo de calor desde los gases generados en la combustión hasta el fluido caloportador. Suelen incluir elementos (retardadores) o geometrías especiales con el fin de mejorar el coeficiente de transmisión de calor humos-fluido.
- **chimenea:** es la vía de escape de los humos y gases de combustión hacia el exterior después de haber cedido calor al fluido caloportador. Su trazado es vertical prácticamente en su totalidad y presenta una envoltura aislante y resistente.
- **salida de fluido caliente:** desde donde el vapor o el fluido caliente se envía hacia los puntos de consumo de la instalación.
- **bomba:** es el equipo encargado de introducir el fluido frío en estado líquido en la caldera para reemplazar el volumen de fluido caliente que ha abandonado la misma. Para un funcionamiento eficiente, se aconseja que el fluido frío entre en la caldera a una temperatura superior a la del ambiente. En las calderas de vapor y agua sobrecalentada, la temperatura ideal del agua de alimentación debe estar comprendida entre 102 y 105 °C y nunca por debajo de 60 °C. Además, sus características deben respetar los requisitos de la norma UNE-EN 12953-10:2004 [3].
- **carcasa:** contiene el hogar y el sistema de tubos de intercambio. Debe estar recubierta por una envolvente con material aislante térmico, con el fin de disminuir las pérdidas de calor y proteger a los operarios contra quemaduras.

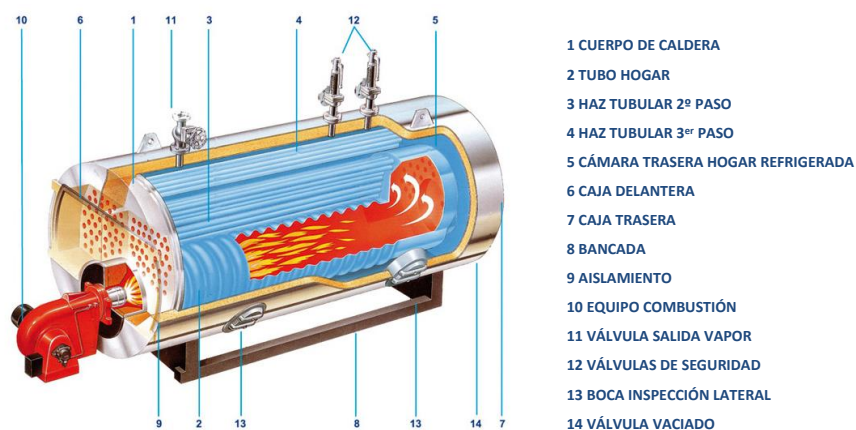


Imagen 1. Principales partes de una caldera [4].



3.2 Dispositivos de seguridad

Las calderas que funcionan a alta presión suelen estar provistas de dispositivos de seguridad y accesorios que garantizan un funcionamiento correcto y seguro (imagen 2). Estos dispositivos, que requieren supervisión continua, se sitúan directamente en la caldera o en la instalación encargada de distribuir el fluido caliente desde ésta hasta los puntos de consumo. Se clasifican en dos grupos:

3.2.1 Dispositivos de seguridad obligatorios

Su función principal es bloquear el quemador cuando se rebasen los parámetros admisibles de funcionamiento:

- **válvulas de seguridad** (SIV), para prevenir un exceso de presión.
- **limitador de nivel mínimo** (WB), que protege a la caldera de la falta de fluido caloportador.
- **presostato de seguridad** (DB), que protege a la caldera contra el incremento de presión.

3.2.2 Dispositivos de seguridad suplementarios

Su función principal es garantizar el correcto funcionamiento de la caldera y prevenir su deterioro:

- **indicadores de nivel** (WSA), necesarios para controlar el nivel de líquido a calentar en la caldera.
- **válvula de aireación** (ELV), necesaria para el llenado y vaciado del generador y para eliminar el aire residual.
- **válvula de purga de lodos** (ASV), para eliminar los residuos que se precipitan en el fondo de las calderas de vapor procedentes del agua de alimentación.
- **válvula de purga continua de sales** (ABV), evita que se supere la máxima salinidad admitida en el agua de alimentación de las calderas de vapor y la formación de incrustaciones cristalinas sobre la superficie de calefacción.
- **botellín de toma de muestra** (X), donde se condensa el vapor generado en las calderas de vapor para analizar el contenido exacto en sales y oxígeno.
- **reguladores de presión** (DR), ajustan la presión del fluido caliente según las necesidades en el punto de consumo.
- **electrodos de conductibilidad** (PZ, PW) conectados al regulador de nivel para regular el aporte de fluido de alimentación a la caldera.

Adicionalmente, cuando el vapor de agua sea el fluido empleado para transmitir la energía térmica, la instalación de distribución de vapor deberá estar provista de **purgadores de vapor** encargados de extraer el vapor condensado del interior de tuberías o equipos. La recuperación del agua condensada y su empleo en la alimentación de la caldera reduce el consumo energético del proceso y la necesidad de tratar el agua previamente a su entrada en la caldera.

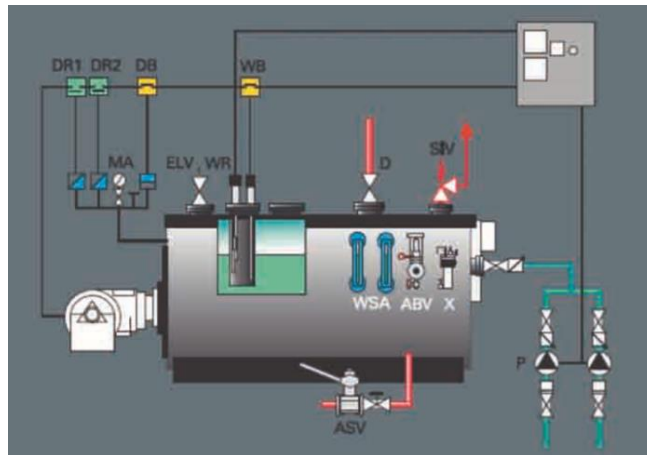


Imagen 2. Dispositivos de seguridad y regulación [5].

3.3 Tipos de calderas

3.3.1 Clasificación según la disposición de los fluidos

Según la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión, las calderas se clasifican en (imagen 3):

- **acuotubulares**, en las que el fluido a calentar se desplaza por el interior de los tubos y los gases de combustión circulan por el exterior de los mismos. Se emplean cuando se requieren presiones de trabajo elevadas (> 22 bar), para calentar volúmenes pequeños de agua. Dado que el agua alcanza velocidades considerables, la transmisión de calor es eficiente y la capacidad de producir vapor elevada. Exigen ser alimentadas con agua de gran pureza para evitar incrustaciones en el interior de los tubos y rotura de los mismos. Su coste es más elevado y, debido al pequeño volumen de agua, se ajustan peor a las grandes variaciones del consumo de vapor.
- **pirotubulares**, en las que los gases de combustión circulan por el interior de los tubos que se encuentran sumergidos en el agua. Se emplean cuando la presión de trabajo es inferior a 22 bar, para calentar un gran volumen de agua, lo que les permite adaptarse mejor a las fluctuaciones en la demanda de vapor de la instalación. Aunque requieren más tiempo hasta alcanzar la presión de funcionamiento, la exigencia de calidad del agua de alimentación es mucho menor. Según la disposición del haz tubular, las calderas pirotubulares se clasifican en:

- verticales, si va de la parte inferior a la superior de la caldera.
- horizontales, si va de la parte delantera a la trasera.

En función del número de haces tubulares, se clasifican en:

- calderas de un paso de recorrido de los gases.
- calderas de varios pasos de gases.

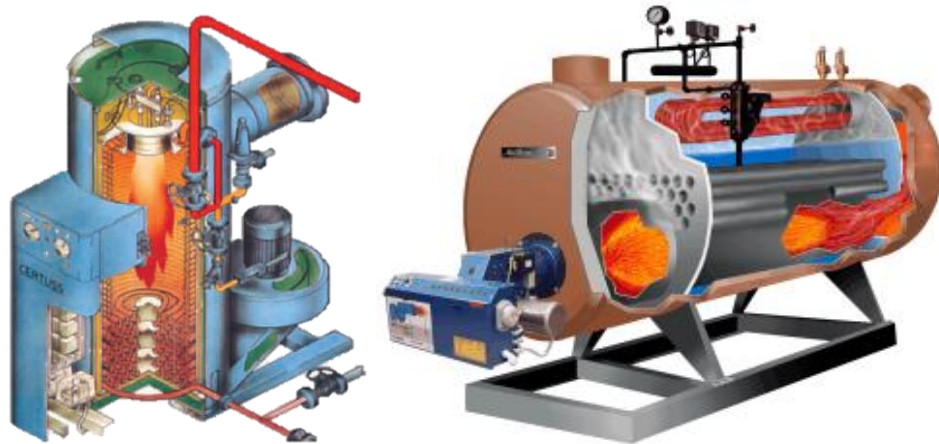


Imagen 3. Ejemplo de caldera acuotubular (izquierda) [3] y de caldera pirotubular de dos pasos de humo (derecha) [6].

3.3.2 Clasificación según las necesidades energéticas

Según la naturaleza del fluido caloportador y la temperatura a la que éste se va a emplear en el proceso, las calderas se clasifican en:

- **calderas de agua caliente**, en las que el fluido caloportador es el agua y la temperatura máxima de servicio es inferior a 100 °C. Pueden ser acuotubulares o pirotubulares. Son las más utilizadas en viviendas y pequeñas edificaciones del sector terciario.
- **calderas de agua sobrecalentada**, en las que el fluido caloportador es agua sometida a presión y la temperatura máxima de servicio es superior a 110 °C. Pueden ser acuotubulares o pirotubulares.
- **calderas de vapor**, en las que el fluido caloportador es vapor de agua. Pueden ser acuotubulares o pirotubulares.
- **calderas de fluido térmico**, en las que el fluido caloportador es distinto al agua. Únicamente pueden ser acuotubulares.

3.3.3 Clasificación según el tipo de combustible

Según el tipo de combustible empleado para producir calor, las calderas se clasifican en:

- **calderas de combustibles sólidos**, tales como carbón, bagazo o material vegetal. Son complejas de operar por la forma de alimentación, generan cenizas y suciedad y son de difícil control de la combustión. Su principal ventaja es que los combustibles son de bajo precio o en algunos casos gratis, por tratarse de subproductos de un proceso como por ejemplo el bagazo de caña de azúcar en las industrias azucareras del mundo.
- **calderas de combustibles líquidos**, tales como gasolinas, gasóleos y fuelóleos, que deben ser atomizados para facilitar su mezcla con el aire comburente y, en algunos casos, precalentados para mantener



la fluidez y permitir su bombeo desde el lugar de almacenamiento al quemador.

- **calderas de combustibles gaseosos**, tales como el gas natural y los gases licuados del petróleo (propano y butano). Son de fácil control de combustión y requieren menos frecuencia de mantenimiento, ya que los gases se transportan por la propia presión del sistema. Sin embargo, son más costosas de operar por el coste del combustible y requieren más cuidados por tratarse de combustibles explosivos.

3.3.4 Clasificación según el tiro

De acuerdo con la forma como se genera el caudal de aire necesario para iniciar y mantener el proceso de combustión y tras éste evacuar los productos originados, las calderas se clasifican en:

- **calderas de tiro natural**, en las que la entrada y salida del aire de combustión y los gases no son asistidas por ventiladores, sino que el flujo de ellos se da por circulación natural debido a la diferencia de densidad de estos fluidos.
- **calderas presurizadas**, en las que un ventilador de tiro forzado inyecta el aire de combustión al hogar, mientras que los gases producidos salen por la presión generada en el hogar.
- **calderas de tiro equilibrado**, en las que un ventilador de tiro forzado inyecta el aire de combustión al hogar y un ventilador de tiro inducido extrae de la cámara los gases generados, manteniendo la presión del hogar ligeramente negativa (presión de succión).

3.4 Selección del tipo de caldera

Los principales parámetros proporcionados por los fabricantes y que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el tipo de caldera son [4]:

- para las calderas de agua caliente, agua sobrecalentada y fluido térmico, la **potencia útil** (o energía realmente utilizable y que puede absorber el fluido calorportador por unidad de tiempo) según el requerimiento térmico de la instalación a la cual van a alimentar.
- para las calderas de vapor, la **producción de vapor** según el consumo necesario en el proceso.
- para todos los tipos de calderas, la **presión** de trabajo en continuo requerida en el punto más alejado del centro de producción, así como la **temperatura** de trabajo en continuo necesaria para llevar a cabo el proceso.

En el caso de las calderas de vapor, la **potencia útil** (P , en kW) varía en función de la presión de trabajo del generador y la temperatura del agua de alimentación a la caldera, siendo esta potencia igual a la producción de vapor de la caldera (m , en kg/h) multiplicada por la diferencia entre la entalpía del vapor a la presión máxima de trabajo (h_{vapor} , en kJ/kg) y la entalpía del agua de alimentación (h_{agua} , en kJ/kg) e incrementando el resultado en función del rendimiento de la caldera (η) (ecuación 1). Se entiende por rendimiento de



una caldera la relación entre la cantidad de energía que genera la caldera y la energía que consume.

$$P = \frac{m \cdot (h_{\text{vapor}} - h_{\text{agua}})}{\eta}$$

Ecuación 1. Cálculo de la potencia nominal en una caldera de vapor.

Es decir, para producir 1500 kg/h de vapor saturado a una presión de 10 bar (según datos mostrados en la tabla 1, $T_{\text{vapor}} = 179,9 \text{ }^\circ\text{C}$ y $h_{\text{vapor}} = 2778,1 \text{ kJ/kg}$) a partir de agua a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (sabiendo que el calor específico del agua líquida entre 0 y $100 \text{ }^\circ\text{C}$ fluctúa en torno a $4,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, $h_{\text{agua}} = 62,7 \text{ kJ/kg}$) con una caldera cuyo rendimiento es del 90% ($\eta = 0,9$), se necesitará una energía o potencia de combustión $P = 1500 \cdot (2778,1 - 62,7) / 0,9 = 4525666,67 \text{ kJ/h} = 1257,13 \text{ kW}$.

Presión bar	Temp. °C	Volumen específico m³ / kg		Energía interna kJ / kg				Entalpía kJ / kg			Entropía kJ / kg K		
		Líquido		Vapor		Líquido		Vapor		Vapor		Líquido	Vapor
		sat.	vapor	sat.	vapor	sat.	vapor	sat.	vaporiz.	sat.	sr	sv	
0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746			
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304			
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287			
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502			
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085			
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686			
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700			
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939			
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320			
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797			
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346			
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949			
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594			
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233			
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271			
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527			
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,8	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919			
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405			
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959			
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565			
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212			
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600			
7,00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080			
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628			
9,00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226			
10,0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863			
15,0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,94	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448			
20,0	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409			
25,0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575			
30,0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869			
35,0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253			
40,0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701			
45,0	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199			
50,0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734			
60,0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892			

Tabla 1. Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): tabla de presiones [7].

4 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos explicado el funcionamiento básico de una caldera, las partes que la integran y los dispositivos que garantizan su seguridad y efectividad. También hemos descrito la terminología propia de este tipo de instalaciones y hemos mostrado los diferentes tipos de calderas que existen. Finalmente, hemos introducido la forma de calcular la potencia nominal de una caldera de vapor.

5 Bibliografía

[1] Real Decreto 2060/2008, de 5 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias. Boletín Oficial del Estado, 5 de febrero de 2009, núm. 31, pp. 12297 a 12388.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

- [2] GasNatural Fenosa. Guía de Calderas: todo lo que necesitas saber sobre el ahorro energético. Manual para empresas. e-book Disponible en: file:///F:/CURSO%202017-2018/INOP/INOP-CALDERAS_NEW/E-BOOK.pdf
- [3] Norma Española UNE-EN 12953-10, de mayo de 2004, por la que se establecen los requisitos para la calidad del agua de alimentación y del agua de las calderas pirotubulares.
- [4] SEGECAL, S.L., empresa española líder en la fabricación de calderas. Disponible en: <http://www.sogecal.com/caldera-pirotubular/>
- [5] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM, 2013). Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industrialeseficientes-fenercom-2013.pdf>
- [6] CALDERAS POWERMASTER, grupo industrial mejicano dedicada a la fabricación de calderas y equipos auxiliares. Disponible en: <http://www.powermaster.com.mx/www/historia.html>
- [7] Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): tabla de presiones. Disponible en: http://www.academia.edu/7359273/Propiedades_del_agua_saturada_líquido-vapor_Tabla_de_presiones