



# Informe técnico

Dr.-Ing. Eberhard Franz  
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH)  
Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH



## Comparativa de caldera pirotubular y caldera acuotubular

La generación de vapor a escala industrial cuenta con más de 200 años de historia. El primer siglo se caracteriza exclusivamente por calderas comparables con las actuales calderas pirotubulares. En el año 1875 [1], es decir, 106 años después de que James Watt inventase la caldera y la máquina de vapor, la empresa Steinmüller diseñó la primera caldera acuotubular.

Desde entonces, el desarrollo de las calderas acuotubulares ha sufrido un espectacular cambio de rumbo en lo que se refiere a presión y capacidad. En 1927 entró en servicio la primera caldera Benson con una capacidad de 30 t/h a 180 bar y 450 °C. Ya en los años sesenta, se diseñaron calderas supercríticas, con una presión superior a 350 bar y temperaturas de más de 600 °C. En 1970 se consiguió una producción máxima de 1000 t/h. Sólo 5 años más tarde fue posible fabricar calderas de tubos de agua con capacidades de vapor de más de 2000 t/h.

Debido al principio de diseño, no pueden conseguirse unas producciones tan grandes ni unos parámetros de vapor tan extremos en calderas pirotubulares. Sin embargo, las calderas pirotubulares son aún objeto de mejoras hoy en día. Algunos ejemplos de mejoras – inicialmente implantadas por Bosch Industriekessel GmbH – es la introducción en 1953 de una caldera de tres pasos con cámara de inversión refrigerada por agua, el desarrollo de una caldera de doble hogar de combustión (1956) o los electrodos de seguridad para controlar el nivel mínimo de agua (1977). De esta manera, hoy en día pueden cubrirse con seguridad y de forma económica unas producciones de vapor de hasta 55 t/h casi exclusivamente mediante una única caldera

pirotubular. Dependiendo del tamaño, pueden alcanzarse presiones de hasta 30 bar y temperaturas de hasta 300 °C en vapor sobrecalentado. La figura 1 muestra el diseño de una moderna caldera pirotubular con doble hogar de combustión.

Todos los aspectos mencionados anteriormente demuestran que los dos principios de diseño tienen su justificación. En términos generales, no es ni razonable ni posible sustituir un diseño por el otro en determinados casos claramente definidos. A veces, existen excepciones a esta norma. El objetivo del presente informe es proporcionar argumentos relacionados con la seguridad, aspectos de funcionamiento, características físicas y el coste para aquellos casos en los que puedan aplicarse ambos diseños.

### Seguridad

En algunos países en vías de desarrollo de Asia y de Sudamérica las calderas pirotubulares no están demasiado extendidas. Los fabricantes locales de estas calderas proporcionan unos niveles de calidad que no alcanzan en ningún modo los niveles alemanes. Lo mismo puede decirse de los elementos de seguridad referidos al exceso de presión y a la falta de agua. En consecuencia, los niveles de seguridad son bajos. Debido al temor que producen las consecuencias catastróficas de la explosión de una caldera, se favorece el diseño acuotubular, dada la mayor capacidad de agua de las calderas pirotubulares y también, a veces, debido a la actitud extremadamente conservadora de algunos proyectistas y empresas de ingeniería. Además de los factores de seguridad, un aspecto decisivo en los países antes citados es la escasa vida útil de las calderas pirotubulares fabricadas en estos países.

En la anterior República Federal Alemana, los últimos 20 años no ofrecen ninguna información relativa a accidentes de consecuencias graves en relación con las calderas pirotubulares. Un factor decisivo para este balance positivo ha sido sin duda el sistema de electrodos destinado al control y limitación del nivel de agua en 1977 y la introducción de las Normas sobre el diseño de seguridad inherente para las calderas pirotubulares en 1985 [2]. Un diseño de seguridad inherente implica abandonar determinados principios de diseño (fondos de caldera soldados exteriormente, fijaciones con tirantes longitudinales para el anclaje de fondos), así como permitir la posibilidad de inspeccionar fácilmente el interior de la caldera, dejando un amplio espacio entre los componentes de la caldera que estén a temperaturas diferentes.

Otro aspecto importante ha sido la introducción de la prueba hidrostática con presiones de prueba incrementadas, que constituye un método sencillo y a la vez muy fiable de evaluar el estado y la seguridad de las calderas pirotubulares [3]. Las normas citadas y los nuevos equipos han hecho posible la utilización de calderas pirotubulares en Alemania sin accidentes de importancia durante más de veinte años. Lo anterior no se aplica totalmente a otros diseños de caldera [4, 5].

Siempre y cuando se observen las necesarias medidas de calidad en fabricación y diseño, las calderas pirotubulares ofrecen un alto grado de seguridad y duración. Por lo tanto, las empresas de ingeniería y los usuarios deberían elegir únicamente aquellos fabricantes que se encuentren en disposición de presentar un gran número de plantas de referencia que hayan estado operando con seguridad y sin daños durante muchos años.

#### Aspectos de Funcionamiento

Esta sección del informe trata de los requisitos de calidad del agua, del mantenimiento y de las revisiones periódicas de seguridad.

La calidad del agua de la caldera y del agua de alimentación, es de gran importancia para todo tipo de calderas de vapor. Sin embargo, existen importantes diferencias – económicas, por ejemplo – en los requisitos referidos a la calidad del agua. En el caso de las calderas acuotubulares, no es aconsejable su funcionamiento con salinidad en el agua, en la mayor parte de diseños [6]. En las calderas acuotubulares, la salinidad representa una conductividad del agua de la caldera de  $\leq 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . En los

flujos de calor locales  $> 250 \text{ kW}/\text{m}^2$ , se necesita normalmente agua sin sales, al objeto de evitar la obstrucción en los tubos y que impida la transferencia térmica. Estos requisitos sólo pueden ser satisfechos mediante la instalación de complicados y costosos sistemas de tratamiento de agua.

En principio, las calderas pirotubulares pueden funcionar con salinidad en el agua (conductividad  $\leq 6000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). No se producen efectos perjudiciales sobre la superficie de calefacción de la caldera, debido a los depósitos de sal. Pueden utilizarse sencillas plantas de descalcificación de agua para su tratamiento. El tipo de tratamiento de agua viene determinado por aspectos económicos, así como por la calidad del agua disponible. El factor decisivo es la duración de la amortización de los sistemas de tratamiento de agua de alta calidad, que puede resultar de una reducción en el volumen de desmineralización.

Otra diferencia es el tamaño en relación con la capacidad térmica. Normalmente, las calderas pirotubulares requieren menos espacio para similares capacidades.

El mantenimiento puede llevarse a cabo de una forma más sencilla en las calderas pirotubulares que en las acuotubulares. Esto se debe en gran parte a unos esfuerzos claramente menores durante la puesta en marcha y durante el paro, así como al fácil acceso a las superficies de calefacción.

Lo mismo puede decirse en referencia a las revisiones periódicas. Para las calderas pirotubulares fabricadas de conformidad con las anteriormente citadas normas de seguridad, se ha comprobado la viabilidad de un sistema muy sencillo, claro y económico; es decir, una inspección ocular de los principales componentes de la caldera, seguida de una prueba hidrostática bajo presiones de prueba incrementadas – véase [3]. Esto permite evitar casi totalmente las revisiones de carácter no destructivo tales como las mediciones con ultrasonidos. En las calderas acuotubulares, no se han podido aplicar las pruebas hidrostáticas con presiones de prueba incrementadas, por diversas razones cuya discusión no forma parte del presente informe. Por otra parte, varias zonas de una típica caldera acuotubular son inaccesibles a la inspección ocular (zonas aisladas). Por lo tanto, es necesario hacer un uso muy amplio de las mediciones con ultrasonidos.



Imagen 1: Caldera pirotubular de alta presión, diseño con doble hogar, 35 t/h, 16 bar



Imagen 2: Transporte de una caldera acuotubular de agua caliente 100 MW

### Características Físicas

A continuación, se expondrán diversos aspectos que son el resultado directo de los respectivos principios de diseño: contenidos de agua, acumulaciones, características de la carga parcial.

En relación con la capacidad térmica generada, la caldera pirotubular contiene mucha más agua que la caldera acuotubular. Por lo tanto, la caldera pirotubular es más resistente ante las fluctuaciones de vapor o demandas de vapor que excedan temporalmente la producción nominal de la caldera. Aparte de un aumento a corto plazo de la humedad del vapor, no cabe esperar otros efectos; no debe preverse una influencia negativa de la transferencia térmica. Este „comportamiento inofensivo“ no es el característico de las calderas acuotubulares en virtud de su diseño. Las fluctuaciones en la presión tendrán una influencia inevitable sobre los cambios en la densidad.

Dada su menor capacidad de agua, la caldera acuotubular puede utilizarse en diversos países como lo que se denomina „caldera producto“; es decir, su instalación puede llevarse a cabo más fácilmente [7].

Un factor esencial en relación con la duración de las calderas de vapor es el número de arranques del quemador. En este sentido, es decisivo – aparte de un ajuste adecuado de la caldera/sistema – también el nivel de carga mínima que puede producir la caldera. En el caso de ciertos diseños de calderas acuotubulares generadoras de vapor sobrecalentado, esta carga mínima se corresponde con la mínima capacidad técnica proporcionada por el quemador. En las calderas acuotubulares, la carga mínima del quemador no puede normalmente proyectarse a la caldera ya que la reducción

del caudal másico en la zona de agua, influye negativamente sobre la transferencia térmica causando efectos no deseados de avería por calor excesivo, con un rango de flujos térmicos elevados.

### Costes y Tiempo

Siempre y cuando puedan cubrirse determinados requerimientos mediante diversos modelos de calderas pirotubulares, la elección de una caldera pirotubular representa una alternativa más económica, si los niveles de costes de fabricación y de calidad son comparables. Por otra parte, los plazos de entrega así como el tiempo necesario para instalar la planta son más reducidos.

Por regla general, las calderas pirotubulares ofrecen un mayor rendimiento que las calderas acuotubulares. Esto ocurre también mientras están funcionando ya que pueden someterse a operaciones de mantenimiento con facilidad durante su funcionamiento; es decir, las calderas pirotubulares se caracterizan por una mayor economía también mientras funcionan.

### Sumario

Normalmente, las gamas de aplicación de las calderas pirotubulares y las calderas acuotubulares están claramente definidas. Es sencillamente imposible utilizar una caldera pirotubular para generar 1000 t/h de vapor a 180 bar y 450 °C. Hasta una producción de aproximadamente 200 t/h, 30 bar y 300 °C, la mejor elección es, generalmente, el uso de una o más calderas pirotubulares, debido a que son más económicas en su adquisición y mantenimiento. Los modernos procesos de fabricación y la observación de las normas relativas al diseño de seguridad inherente, permiten un alto grado de seguridad y duración. Los anteriores aspectos se encuentran resumidos en la tabla presentada.

Cráterios	Calderas Pirotubulares	Calderas Acuotubulares
Calidad del agua	Menores exigencias, posible funcionamiento con salinidad del agua	Mayores exigencias, es necesario un bajo nivel de salinidad para su funcionamiento
Mantenimiento	fácil de limpiar	Más costoso
Revisiones periódicas	Inspección ordinaria, seguida de una prueba hidrostática, raramente son necesarias otras pruebas de carácter no destructivo, como por ej. as mediciones con ultrasonidos, en caso contrario se efectúan en zonas muy reducidas	Son necesarias mediciones con ultrasonidos además de prueba hidrostática; es decir, pruebas costosas en tiempo y dinero
Costes para niveles comparables de gasto de fabricación y calidad	Menores	Mayores
Rendimiento	Mayor, de fácil mantenimiento	Menor; es más difícil realizar su mantenimiento en funcionamiento
Características de la carga parcial	Puede aprovecharse el control del quemador; cuando caiga por debajo de la carga mínima, el quemador puede apagarse sin problemas	En el caso de determinados diseños, debe limitarse la carga parcial; el quemador no puede apagarse manualmente
Contenido de agua	Mayor, debido a su diseño	Menor
Capacidad de acumulación	Debido al alto volumen de agua, no es susceptible a las fluctuaciones de presión y carga	Susceptible a las fluctuaciones de presión y carga resultantes del proceso
Plazo de entrega	Más corto	Más largo
Necesidades de espacio	Reducidas	Elevadas
Tiempo necesario para el montaje y puesta en marcha inicial	Reducido	Más prolongado

**Literatura:**

[1] Lehmann H.: Dampferzeugerpraxis, Resch-Media Mail Verlag GmbH, Gräfelting 1994

[2] VdTÜV, FDBR, VGB: Vereinbarung 1985/1 über Richtlinien für die Beurteilung von Großwasserraumkesselkonstruktionen, VdTÜV, Essen 1985

[3] Roßmaier W.: Verbesserte Wasserdruckprüfungen bei Flammrohr-Rauchrohr und Wasserrohrkesseln, Technische Überwachung Bd. 38 (1997), Nr. 6 – Juni

[4] Diwok, H.-J., Mattern, J., Hülmann, G.: Explosion in einem 150 MW-Schmelzkammerkessel, Technische Überwachung Bd. 37 (1996), Nr. 3 – März

[5] N. N.: Vier Arbeiter starben im heißen Dampf, Bonner Generalanzeiger, 20.10.1994

[6] Dolezal, R., Dampferzeugung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo etc., 1990

[7] N. N., TRD 403: Aufstellung von Dampfkesselanlagen mit Dampfkesseln der Gruppe IV, Ausgabe Juni 1984

[8] Franz, E.: Kaltstart von Grosswasserraumkesselanlagen

Las instalaciones de producción:  
**Terrenos de la fábrica 1 Gunzenhausen**  
Bosch Industriekessel GmbH  
Nürnberger Straße 73  
91710 Gunzenhausen  
Alemania

**Terrenos de la fábrica 2 Schlungenhof**  
Bosch Industriekessel GmbH  
Ansbacher Straße 44  
91710 Gunzenhausen  
Alemania

**Terrenos de la fábrica 3 Bischofshofen**  
Bosch Industriekessel Austria GmbH  
Haldenweg 7  
5500 Bischofshofen  
Austria

[www.bosch-industrial.com](http://www.bosch-industrial.com)

© Bosch Industriekessel GmbH | Las imágenes son solo ejemplos | Se reservan modificaciones | 07/2012 | TT/SLI\_sp\_FB-Vergleich\_GWK-WRK\_01