

TP N°1: Verificación del Rendimiento Térmico de una Caldera

Ing. Pablo Barral[†]

67.33 Tecnología del Calor

Depto. de Ing. Mecánica - FIUBA

31 de julio de 2024
Revisión 0

Índice

1. Objetivo	1
2. Condiciones	1
3. Datos	2
4. Información para entregar	3

1. Objetivo

El objetivo de este trabajo práctico es verificar el rendimiento térmico informado por el fabricante de una caldera que ha sido recientemente adquirida. Esto debe hacerse partiendo de la geometría relevada del plano, de los datos del combustible utilizado y de los parámetros del proceso de generación de vapor sobrecalentado.

2. Condiciones

Los grupos para este trabajo práctico deben ser de dos personas. En el caso de que la cantidad de personas del curso fuera impar, se conformaría un único grupo de tres personas.

[†] pbarral@fi.uba.ar.

3. Datos

La caldera en estudio es una de las indicadas en el cuadro 1. El significado de cada variable está explicado en el cuadro 2. Los datos del combustible se encuentran en el cuadro 3.

Se adoptan como condiciones del medio de referencia

$$p_0 = 1,013\,25 \text{ bar(a)} \quad t_0 = 15^\circ\text{C} \quad (1)$$

Tanto el aire para la combustión como el gas natural se proveen al quemador (o a los quemadores, según la caldera) a las condiciones del medio de referencia.

Las condiciones *normales* se definen como

$$p_N = p_0 \quad t_0 = 0^\circ\text{C} \quad (2)$$

Las condiciones *estándar*, por su parte, se establecen para este trabajo como

$$p_S = p_0 \quad t_S = t_0 \quad (3)$$

Aproxima en todos los casos $p_0 = p_N = p_S = 1 \text{ bar(a)}$.

Finalmente, consideramos un aire técnicamente simplificado para los cálculos con la composición volumétrica o molar

$$y_{N_2} = 0,79 \quad y_{O_2} = 0,21 \quad (4)$$

		Código de caldera				
		1187	1145	1314	1238	1159
p_v	bar(g)	32	65	69	42	40
t_v	°C	380	480	485	420	400
G_v	bar(g)	80	130	120	95	60
η_t	%	89,6	91,5	92,0	90,7	90,4
ε	%	20	15	13	17	18
$N_{pasos\ SH}$		1	3	3	2	2
ε_{llama}	%			0,7		
p_d	bar(g)			$p_v + 4 \text{ bar(g)}$		
p_a	bar(g)			$p_d + 4 \text{ bar(g)}$		
t_a	°C			105		

Cuadro 1: *Datos de los diferentes temas.*

p_v	Presión del vapor sobrecalentado generado.
t_v	Temperatura del vapor sobrecalentado generado.
G_v	Caudal másico de vapor generado.
η_t	Rendimiento térmico informado por el fabricante.
ε	Exceso de aire en la combustión.
$N_{pasos\ SH}$	Número de pasos del sobrecalentador.
ε_{llama}	Emisividad de la llama.
p_d	Presión de vapor del domo de la caldera.
p_a	Presión del agua de alimentación.
t_a	Temperatura del agua de alimentación.

Cuadro 2: *Referencias.*

	Código de caldera				
	1187	1145	1314	1238	1159
Metano	92,47 %	92,26 %	94,02 %	93,20 %	90,08 %
Etano	3,50 %	2,97 %	2,10 %	4,01 %	4,73 %
Propano	0,98 %	1,49 %	0,97 %	0,99 %	1,23 %
n-Butano	0,56 %	0,31 %	0,18 %	0,22 %	0,24 %
n-Pentano	0,06 %	0,06 %	0,06 %	0,06 %	0,06 %
Nitrógeno	1,75 %	2,78 %	1,67 %	1,31 %	3,42 %
Dióxido de carbono	Según balance				

Cuadro 3: *Datos del combustible: composición volumétrica simplificada del gas natural.*

4. Información para entregar

Una vez realizado el cálculo y consolidados los resultados, se debe presentar para su aprobación una memoria de cálculo completa que recoja el detalle de los pasos realizados, de la información relevada del plano y de las suposiciones asumidas. Esta memoria de cálculo debe permitir al lector reconstruir por su propia cuenta el procedimiento llevado a cabo.

Esta memoria de cálculo debe contener, como mínimo, la siguiente información:

1. Densidad *normal* y densidad *estándar* del gas natural quemado en la caldera.
2. PCI^1 del gas natural quemado en la caldera. Utilizar el script incluido [aquí](#). Expresarlo en $\frac{kcal}{m^3S}$, $\frac{kcal}{m^3N}$ y en $\frac{kJ}{kg}$.
3. Caudal de gas natural quemado en la caldera, adoptando como válido el rendimiento térmico informado por el fabricante.
4. Composición molar (o volumétrica) y másica de los gases de combustión en base húmeda. Masa molar de los gases de combustión. Caudal másico

¹Poder calorífico inferior, o *LHV* según sus siglas en inglés (lower heating value). Definimos al *PCI* como el calor liberado por la combustión completa y estequiométrica del combustible con productos y reactivos en condiciones *estándar*. A este calor se le debe restar el calor de vaporización del agua a la temperatura *estándar*.

de los gases de combustión. Caudal volumétrico en condiciones *normales* del aire de combustión. Relación gases húmedos-combustible para el exceso informado. Composición molar de los gases de combustión en base seca.

5. Cuadro de temperatura de llama vs. emisividad de la llama. En él deben figurar el resultado para el valor dato, para este aumentado en un 15 % y para este disminuido en un 15 %.
6. Liberación de calor volumétrica y superficial del hogar.²
7. Cuadro en el que figuren el coeficiente de intercambio térmico por radiación de los gases triatómicos, el coeficiente de transferencia por convección, el coeficiente de transferencia global, el área de transferencia y la diferencia de temperaturas media logarítmica para:
 - Tubos pantalla,
 - Sobrecalentador,
 - Haz convectivo,
 - Economizador.
8. Comparación del área necesaria para el sobrecalentamiento con el área dispuesta por el fabricante en el sobrecalentador.
9. Cuadro resumen en el que figure el calor transferido en cada sector de la caldera, y el perfil térmico tanto de los gases húmedos como del agua-vapor (temperaturas a la entrada y salida de cada intercambio).
10. Gráficos T vs. Q y $-1/T$ vs. Q . Utilizar como referencia los mostrados en las figuras 1 y 2.
11. Temperatura de chimenea, calor cedido al ambiente en esta y rendimiento térmico obtenido de modo indirecto a partir de este calor. Comparación con el valor informado por el fabricante. Diferencia entre el consumo de combustible informado y el obtenido mediante este cálculo.
12. Rendimiento exergético de la caldera, adoptando como válido el valor informado por el fabricante.
13. Pinch point (y dónde se localiza) y approach point de la caldera.
14. Conclusiones.

Archivos de cálculo: En caso de que hayan sido usados scripts o programas, deben incluirse tanto los códigos como los archivos de cálculo. En caso de que sean archivos de *EES*, estos deben entregarse convergiendo.

Unidades: En cuanto a unidades, se solicita expresar los caudales molares o volumétricos en $\frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{h}}$ o $\frac{\text{m}^3\text{S}}{\text{h}}$ según el caso; las presiones del agua-vapor en bar(g); las temperaturas en °C; y los caudales másicos en $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$. Estas son las unidades habituales en la que estos datos son expresados en la práctica.

²La temperatura de llama es el único valor que se debe calcular tres veces, para distintas emisividades de llama. El resto de los valores, por ejemplo, las liberaciones de calor, solamente deben calcularse para la emisividad de llama dato.

Presentación de la información: Se recomienda utilizar cuadros para presentar la información, ya que son muy cómodos para la lectura. Se desaconseja escribir los reemplazos en las fórmulas. Es suficiente incluir las expresiones, los valores asociados y los resultados obtenidos.

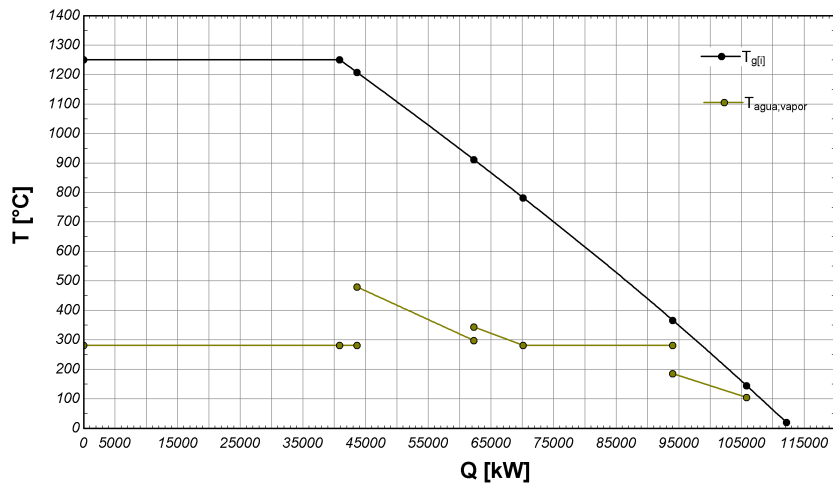


Figura 1: En este caso la curva de la caldera es más compleja que la de este trabajo práctico, ya que el sobrecalentamiento está calculado en etapas, utilizando el área dispuesta por el fabricante, y la caldera tiene una atemperación de vapor intermedia.

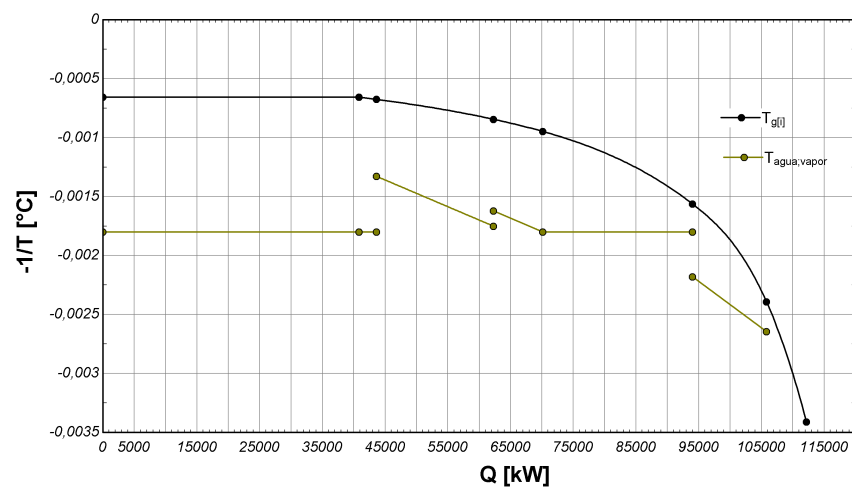


Figura 2: En este caso la curva de la caldera es más compleja que la de este trabajo práctico, ya que el sobrecalentamiento está calculado en etapas, utilizando el área dispuesta por el fabricante, y la caldera tiene una atemperación de vapor intermedia.