

EFICIENCIA EN LA COMBUSTIÓN



Introducción

El objetivo de esta publicación es ofrecer al mantenedor de una instalación térmica una orientación clara a los aspectos más importantes en la prueba de determinación del rendimiento de un generador de calor mediante un análisis de la combustión, así como interpretar correctamente los valores obtenidos, teniendo una referencia de los valores idóneos o aproximados a obtener en base a la antigüedad, tecnología y combustible con el que está alimentado el generador.

Los ticket de la combustión tipo ofrecidos han sido contrastados previamente a su publicación con técnicos y mantenedores de diversas marcas comerciales, a los que agradecemos su colaboración.

Estos apuntes se desarrollan desde los conceptos básicos de la combustión, reacción química que se produce, datos generales sobre combustibles,

concepto de rendimiento y pérdidas que se producen un generador de calor, manejo de un analizador de la combustión, productos de la combustión, aspectos importantes durante una prueba de humos y la toma de muestras, interpretación de resultados, ejemplos de análisis de combustión y aspectos que influyen en el resultado del rendimiento obtenido.

Más importante que realizar la prueba de un análisis de la combustión, es saber realizarla correctamente, y sobretodo analizar los resultados, para poder tomar las decisiones correctas que ayuden a mejorar la combustión y el rendimiento del generador.

Estos apuntes les ayudarán a ello.

Javier Ponce

Contenido

Introducción	1
Comencemos hablando un poco de Combustión	3
¿Qué cantidad de calor se produce en la combustión?	4
¿Qué es un analizador de la combustión?	4
¿Cómo calcula las pérdidas de calor de los humos?	5
Toma de muestras	8
¿Son correctos los valores obtenidos en el análisis de la combustión?	9
Aspectos importantes que influyen en los resultados	10
Consideraciones sobre las calderas de condensación actuales	11
¿Porqué una caldera de condensación ofrece más rendimiento?	12
Potencia de combustión en generadores alimentados con combustible líquido.	14
Potencia de combustión para un combustible líquido con contador.	14
Potencia de combustión para un combustible líquido (o sólido) sin contador.	15
Otras opciones para determinar la potencia de combustión para un combustible líquido. . .	15
Potencia de combustión para generadores alimentados por un combustible gaseoso	16
Potencia de combustión para un combustible gaseoso con contador.	16
Tablas de datos de diversos combustibles.	17
Aspectos importantes a considerar.	18
Desajuste de potencia.	19



Comencemos hablando un poco de Combustión.

Los mantenedores de generadores de calor, que obtienen la energía térmica mediante combustión, deben evaluar periódicamente este rendimiento de la combustión.

La reacción de oxidación entre el hidrocarburo y el oxígeno del aire producirá unos productos de la combustión y una energía en forma de calor y luminosidad.

Cada combustible tiene una composición química distinta con una proporción diferente de átomos de carbono y de hidrógeno, por lo que el resultado de los productos de la combustión será distinto, así como la cantidad de oxígeno necesaria para su combustión.

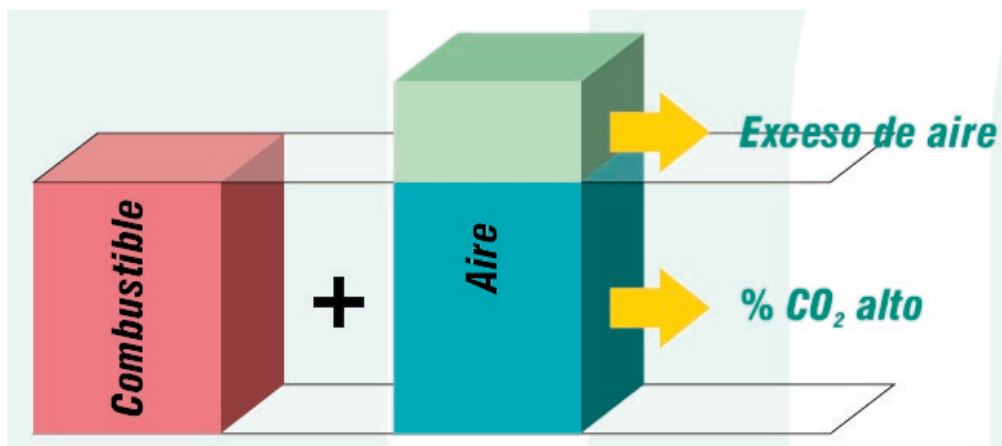
Los valores de aire teórico necesario para la combustión (poder comburivoro) son:

Combustible	Comburente
Gas Natural	9,31 m ³ aire/m ³ gas
Gas Propano	23,90 m ³ aire/m ³ gas
Gasóleo	11,26 m ³ aire/Kg

Así si se combina 1 m³ de gas natural con 9,31 m³ de aire teóricamente se produciría una combustión perfecta de aparecer una chispa (energía de activación).

A esta combustión se le denomina combustión estequiométrica. Sólo es posible teóricamente, pues los átomos de carbono (C) e hidrógeno (H) disponen de poco tiempo en un quemador para reaccionar.

Por tanto en los quemadores actuales se forzará la entrada de un poco más de aire (exceso de aire) respecto del teórico para obtener una combustión completa.



Principalmente en una combustión aparecerán:

- $C + O_2 = CO_2$ (dióxido de carbono).
- $H + O_2 = H_2O$ (agua, en fase gaseosa al estar a más de 100 °C).

Además, debido a que el aire contiene nitrógeno, hay un exceso de aire, la combustión puede no ser perfecta aparecerán en los productos de la combustión como el Nitrógeno (N), Monóxido de Carbono (CO), Hollín (C), Oxígeno (O), Óxidos del Nitrógeno (NO_x) e incluso óxidos de azufre (SO_x) si el combustible es el gasóleo pues contiene algo de azufre en su composición.

Analizando los productos de la combustión se puede determinar si la reacción de combustión ha sido completa, o bien hay inquemados, y la cantidad de calor que no se está aprovechando.

Si una reacción química completa produciría un rendimiento del 100 %, el rendimiento de la combustión, η_{cmb} , será:

$$\eta_{cmb} = 100 - q_{hs} - q_i - q_{rc}$$

Donde se tendrán en cuenta las pérdidas de calor que se producen por:

- Chimenea, q_{hs} .
- Inquemados, por reacciones incompletas, y formación de CO en vez de CO₂.
- Radiación y convección de la caldera.

Descontadas estas pérdidas el resto del calor de la combustión se transmite al fluido portacalor como el agua (calderas o calentadores) o el aire (generadores de aire caliente).

¿Qué cantidad de calor se produce en la combustión?

La cantidad de calor que produce el combustible dependerá de su composición química, denominándose poder calorífico del combustible.

Combustible	PCS (Hs)	PCI (Hi)
Gas Natural	11,04 a 11,97 kWh/m ³ (n)	10,00 a 10,80 kWh/m ³ (n)
	10,51 a 11,40 kWh/m ³ (s)	9,52 a 10,29 kWh/m ³ (s)
Gas Propano	29,30 kWh/m ³ (n)	26,97 kWh/m ³ (n)
	27,90 kWh/m ³ (s)	25,69 kWh/m ³ (s)
Gasóleo	14,01 kWh/kg	12,90 kWh/kg
	11,92 kWh/kg	11,70 kWh/kg
	10,31 kWh/l	10,12 kWh/l

Estos valores deben ser contrastados con los indicados en la factura del suministro de combustible. Las referencias n y s significan: n, condiciones normales (0 °C); s, condiciones estándar (15 °C).

La diferencia entre el poder calorífico superior (Hs) y el poder calorífico inferior (Hi) es la energía del vapor de agua contenido en los productos de la combustión. Si se logra la condensación de este vapor de agua el aprovechamiento de esta energía proporcionará unas menores pérdidas y un mayor rendimiento en el generador.

El consumo calorífico del generador viene referido al poder calorífico inferior del combustible, y por ello cuando este generador tiene tecnología de condensación se pueden producir rendimientos superiores al 100 %.

¿Qué es un analizador de la combustión?



Ilustración 1. Analizador de la combustión.

Un analizador de la combustión es un equipo que mide temperatura de los productos de la combustión y a veces simultáneamente del ambiente, y además algunos productos de la combustión como el oxígeno (o bien el dióxido de carbono), y el monóxido de carbono.

Este instrumento cumplirá las especificaciones de la Norma UNE EN 50.379, y deberá estar debidamente calibrado por el fabricante o por un laboratorio que cumpla con los requisitos de la Norma UNE EN ISO 17.025.

La calibración deberá habersele realizado en los últimos 12 ó 18 meses según la asiduidad de las medidas, y el correcto funcionamiento del mismo.

Empleando un analizador de la combustión se obtendrá el rendimiento instantáneo de la combustión, a la vez que se verificará si la combustión es higiénica.

Con las sondas para medición de gases antes indicada y el salto térmico entre la entrada de aire al quemador y la temperatura de los humos valorará las pérdidas de calor por la chimenea.

¿Cómo calcula las pérdidas de calor de los humos?

En base a las medidas realizadas empleará una expresión de este tipo (fórmula de Sieguert):

Donde se observa que:

- A mayor salto térmico ($T_{\text{humo}} - T_{\text{amb}}$) mayores pérdidas y menor rendimiento, y,
- A menor porcentaje de CO_2 , mayores pérdidas y menor rendimiento.

Por tanto para un buen rendimiento habrá que lograr la mínima temperatura de humos y el máximo CO_2 en los productos de la combustión.

Del diseño de la caldera dependerá básicamente la temperatura de humos, pues las calderas con intercambiadores mayores podrán conseguir temperaturas de humos bajas (calderas de baja temperatura, y especialmente las calderas de condensación).

De la tecnología del quemador y de la mezcla aire-combustible, dependerá el porcentaje de dióxido de carbono conseguido (CO_2).

Según el combustible hay un diagrama de la combustión, donde se observa una relación entre el oxígeno y dióxido de carbono presentes en los productos de la combustión. Así al aumentar uno, disminuye el otro, y viceversa.

Por ejemplo, en gasóleo el % de CO_2 + % de O_2 en zonas estables está entre un 16 y un 17 %.

En un ajuste de la combustión de un quemador se debe ajustar:

- La cantidad de combustible para proporcionar el consumo calorífico que precisa el aparato.
- La cantidad de aire para que se produzca una combustión completa del combustible, minimizando la cantidad de inquemados.

De este modo el CO_2 máximo que se puede obtener en la combustión dentro de las combustiones completas será el indicado en la siguiente tabla:

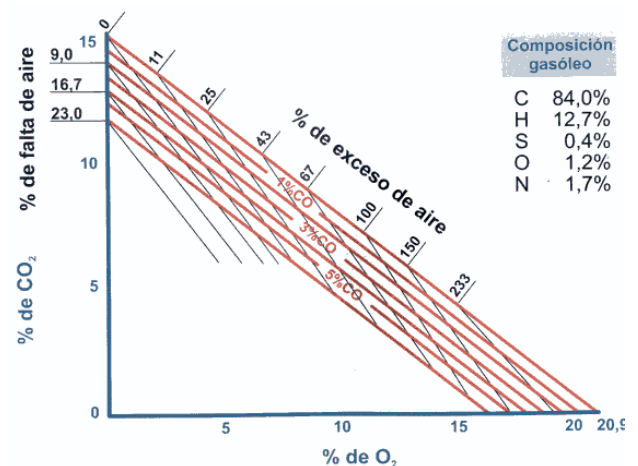
Combustible	CO_2 máximo	CO_2 máximo teórico
Gas Natural	9-10 %	12,1 %
Gas Propano	10-11 %	13,9 %
Butano	10-11 %	14,1 %
Gasóleo	12,5-13 %	15,6 %
Fuelóleo	12 – 12,5 %	15,8 %
Combustibles sólidos	-	Del 18 al 21 %

Observando que siempre será inferior el CO_2 real de la combustión al CO_2 máximo teórico del combustible.

Los fabricantes de grupos térmicos (caldera + quemador) nos ofrecen varios datos que deberemos observar:

- Consumo calorífico nominal, en kW. (valor referido al H_i del combustible)
- Rendimiento nominal, en las condiciones de trabajo, expresado en %.
- Temperatura de humos, en °C.
- CO_2 en %.
- CO en ppm.
- Tiro mínimo, en Pa, mbar, o mmca (1 mbar = 10 mmca = 100 Pa).

Si en un análisis de la combustión obtenemos los valores indicados por el fabricante, el ajuste del quemador será correcto.



La evolución del CO₂ y del CO al variar la entrada de aire (exceso de aire) tiene la siguiente forma:

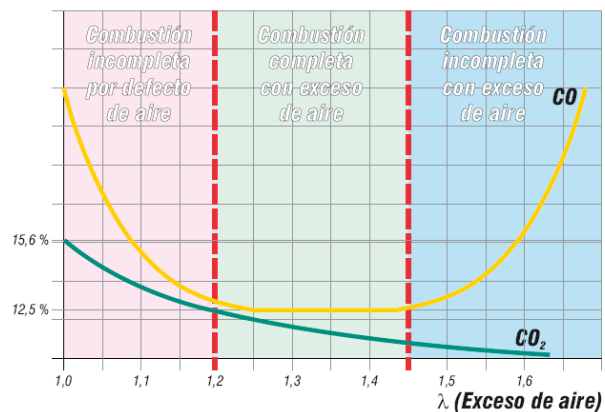


Ilustración 3. Curva CO₂ y CO según exceso de aire.

Deberemos observar en todo momento el CO de los productos de la combustión, para localizar la zona de mínimos inquemados. Pues el CO₂ al aumentar reduce las pérdidas pero puede provocar problemas de inquemados si se produce una combustión incompleta tanto por defecto de aire (zona izquierda), o por gran exceso de aire con desprendimiento de llama (zona de la derecha).

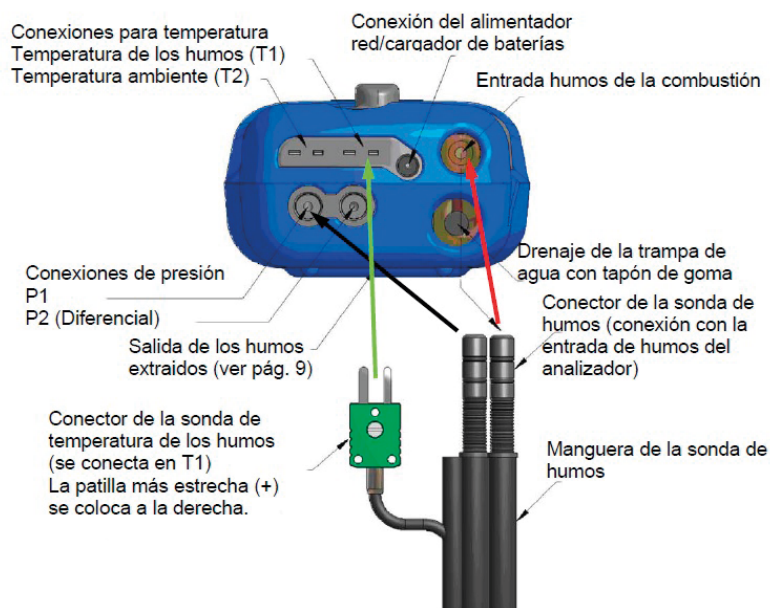


Ilustración 4. Tomas típicas de un analizador

En primer lugar, se revisarán las mangueras y trampa de agua del analizador para comprobar la ausencia de agua. También se observará que el filtro esté limpio.

Se conectará la manguera en la toma de humos, y la sonda de temperatura en la conexión de la temperatura de humos.

Se verificará que el drenaje de la trampa de agua esté cerrado, para evitar entradas de aire en la muestra de humos.

Si se dispone de una sonda con 2 mangueras se conectará la segunda sonda en la toma correspondiente para medición de la sobrepresión o depresión de la chimenea.

Se arrancará el analizador en una zona de aire limpio y se observará que los valores de:

- Oxígeno indica un 20,9 ó 21 %.
- CO indica 0 ppm.
- La temperatura ambiente es correcta.

En los ajustes previos del analizador se comprobará que está en fecha y hora, así como que el **oxígeno de referencia es del 3 %**, para que efectúe correctamente el cálculo del exceso de aire, y el valor del CO corregido (no diluido). Seleccionando el combustible con el que se van a realizar las pruebas.



El protocolo de puesta en marcha obliga a tener en marcha el aparato en máximo potencia, al menos 5 minutos (2 minutos en una revisión o inspección de gas), antes de introducir la sonda en el centro de la salida de humos.

La toma de humos estará lo más cerca posible de la caja de humos del aparato y alejado de zona de turbulencias (codos, tes,...). No existirá holgura entre la sonda y el orificio de toma de humos.

<p>FORMATEC K455ES V1.06B FORMATEC JAVIER PONC EFICIENCIA FORMATIVA NO SERIE: 132316191 GUARDAR 01 HORA 13:47 01/10/16 COMBUSTION COMBUST PROPANO O2 % 6.6 CO2 % 9.4 CO ppm 74 CO ppm n 92 REND (C) 98.1 HUMOS °C 70.9 ENTRAD °C 29.1 NETA °C 41.8 CO/CO2 0.0007 EXCESO AIRE 1.46 CO MG/M3n 114 O2 REF % 3.0 Pres hPa 0.028 Cliente Caldera Ref. </p>	<div style="background-color: #92d050; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p>← Marca, modelo del analizador. Versión del software. Número de serie Datos identificativos del mantenedor.</p> </div> <div style="background-color: #92d050; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p>← Número de informe. Fecha y hora del análisis.</p> </div> <div style="background-color: #92d050; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p>← Prueba realizada: Combustión, CO ambiente, Estanqueidad, Presión, etc. Combustible seleccionado.</p> </div> <div style="background-color: #92d050; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p>← Oxígeno. Dióxido de carbono. Monóxido de carbono. Monóxido de carbono corregido (no diluido). Rendimiento (Condensación, Bruto o Neto). Temperatura de humos. Temperatura de ambiente (entrada humos). Salto térmico (Thumos – Tamb). Índice venenoso (relación entre CO/CO₂). Exceso de aire. Monóxido de carbono en mg/m³. Oxígeno de referencia: 3 % siempre. Presión en chimenea</p> </div> <div style="background-color: #92d050; padding: 10px;"> <p>← Datos del cliente o caldera. O bien un espacio para la firma del cliente, etc.</p> </div>
---	--

Ilustración 5. Ejemplo de ticket combustión.

Toma de muestras

En la toma de muestras de los productos de la combustión de la caldera se deberán seguir las siguientes instrucciones:

- Los controles y mediciones de la inspección se iniciarán transcurrido un periodo mínimo de 5 minutos a la puesta en marcha de la caldera.
- La toma de muestras de los gases de la combustión y la medición de su temperatura se realizarán con la caldera funcionando a la máxima potencia, asegurándose de que esté a régimen. Para ello, y si fuera necesario, se actuará sobre los termostatos de ambiente y/o temperatura de preparación de ACS al objeto de asegurar que la regulación no cortará o modulará el quemador durante el período que necesitamos para estabilización y medida.
- Cuando la caldera sea mixta, servicio calefacción y ACS, la puesta a régimen y la toma de medidas se efectuarán sobre el servicio de máxima potencia (habitualmente en el modo de producción de agua caliente sanitaria).
- En el momento de realizar los análisis y las mediciones, la temperatura del agua de impulsión de la caldera estará a un valor medio de 70 °C o, en su defecto, no podrá ser inferior en 10 °C a la máxima prevista de funcionamiento.
- La puerta o las ventanas de la sala de máquinas o del local donde estén instaladas las calderas deberán estar cerradas para no modificar las condiciones normales de ventilación y del tiro de la chimenea o conducto de humos.
- Si hubiera que practicar algún orificio en el conducto de evacuación, éste será circular y de 9 mm de diámetro. En ese caso, éste debe ser posteriormente obturado por medio de un tapón de plástico termo resistente (al menos hasta 200 °C).
- En las calderas con quemadores mecánicos o calderas de combustibles sólidos, las tomas se realizarán en el conducto de evacuación de los productos de la combustión y a una distancia comprendida entre 0,5 y 1 m después de la caja de humos del aparato.
- En el caso de calderas con quemadores atmosféricos y tiro natural ubicadas en locales de cocina equipados con campana extractora, la campana deberá estar en funcionamiento durante la toma de muestras.
- Se deben evitar las infiltraciones parásitas de aire por el orificio de la toma de muestras al introducir la sonda: el orificio estará posiblemente en depresión y la entrada de aire falso podría alterar los resultados de la analítica e incluso el valor de la temperatura de humos.
- La sonda se introducirá perpendicularmente a la chimenea, situando su extremo en en el eje de la vena de los humos (centro de la chimenea).
- La sonda debe dejarse en la posición de medida al menos 2 minutos, hasta que los valores a medir oscilen muy poco o sean razonablemente estables, en cuyo caso deben registrarse y anotarse. Si los valores están permanentemente oscilando (caso de aparatos en condiciones menos óptimas), deben observarse los valores alcanzados durante 1 minuto, registrando y anotando, si es preciso, el valor lo más cercano posible al máximo observado.
- Si la caldera poseyera en su salida de humos un recuperador de calor, se tomarán las medidas después del mismo.
- Si se han realizado ajustes en el quemador y se ha quitado su carcasa, puerta caldera, etc. Durante los cuales se han realizado análisis de combustión. Una vez finalizados los ajustes se deberá repetir el análisis con la carcasa del quemador, puerta de la caldera puestos, para verificar los resultados obtenidos en condiciones normales de funcionamiento.

¿Son correctos los valores obtenidos en el análisis de la combustión?

En cuanto a valores límite la normativa actual no establece más límite que 500 ppm de CO corregido (no diluido). Algunas Comunidades Autónomas los establecen en 200 ppm.

Y en cuanto a rendimiento este deberá ser lo más próximo posible a su rendimiento nominal, no permitiéndose menos de 5 puntos del indicado en su mercado energético durante la puesta en marcha del generador. Ni menos del 80 % en una prueba de eficiencia energética.

Recordemos que una buena contrastación es observar los valores indicados por el fabricante en su manual de puesta en marcha del aparato y tablas técnicas. Pues cualquier desviación indicará un funcionamiento anómalo del conjunto caldera-quemador.

Veamos algunos ejemplos de combustión:

GASÓLEO

caldera antigua

O₂: Entre 6 y 8 %.

CO₂: Entre 10,5 y 11,5 %.

CO: 50-100 ppm.

Th: 200 °C.

λ: 1,4 – 1,6.

qhs: 10-14 %.

η: 85-90 %.

GASÓLEO

caldera condensación

O₂: Entre 3 y 4 %.

CO₂: Entre 12,5 y 13,2 %.

CO: 20-60 ppm.

Th: + 5 a 20 °C sobre T_{retorno}.

λ: 1,25 – 1,35.

qhs: 2-6 %.

η: 94-98 % (según Tretorno).

GASÓLEO

caldera antigua

O₂: Entre 6 y 8 %.

CO₂: Entre 10,5 y 11,5 %.

CO: 50-100 ppm.

Th: 200 °C.

λ: 1,4 – 1,6.

qhs: 10-14 %.

η: 85-90 %.

GASÓLEO

caldera actual

O₂: Entre 4 y 5 %.

CO₂: Entre 11,5 y 12,5%.

CO: 50-80 ppm.

Th: 140-160 °C.

λ: 1,3 – 1,4.

qhs: 7-8 %.

η: 92-93 %.

GAS NATURAL

caldera atmosférica antigua

O₂: Entre 5 y 6 %.

CO₂: Entre 5 y 8%.

CO: 100 ppm.

Th: 120-140 °C.

λ: 1,5- 2.

qhs: 10-12 %.

η: 88-90 %.

GAS NATURAL

caldera estanca

O₂: Entre 4 y 5 %.

CO₂: Entre 6 y 8%.

CO: 100 ppm.

Th: 120-140 °C.

λ: 1,5 – 2,5.

qhs: 8 - 10 %.

η: 90 - 92 %.

En propano el valor de %CO₂ aumentará entorno a + 1 % respecto al gas natural.

Siempre se deberá anotar la temperatura de la caldera en el momento de la analítica de combustión. Y se habrá dejado la sonda en la posición de la medida al menos 2 minutos sin que se observen oscilaciones en los valores medidos. Si se produjera esta oscilación se deberá anotar los valores máximos observados.

En una prueba de eficiencia energética la caldera deberá haber alcanzado los 70 °C o bien estar como mínimo 10 °C por debajo de la temperatura de trabajo.



Si quieres cuidar tu analizador, no introducirás la sonda durante arrancadas y paradas del quemador, y lo extraerás inmediatamente en caso de subida incontrolada del valor de CO.

En calderas alimentadas con combustibles sólidos, si se sospecha de una mala combustión (presencia de humo negro, llama muy oscura, etc) se deberá realizar una determinación previa del índice de bacharach, y sólo se empleará el analizador si el resultado obtenido está entre 0 y 1.



Aspectos importantes que influyen en los resultados

Realmente con las calderas de última generación no hay valores idóneos que puedan ser aplicados de unos a otros de manera generalizada.

Queda claro que el rendimiento aumentará a medida que se disminuya la temperatura de humos, y se aumente el porcentaje de CO₂ en los productos de la combustión. Pero el aumento del CO₂ puede conllevar un aumento incontrolado del peligroso CO con los problemas para el hogar de la caldera y especialmente para la seguridad de las personas.

La tabla siguiente muestra a modo de ejemplo, como varía el rendimiento de la combustión en función del resultado de la combustión y la temperatura de los PdC.

% CO2	Exc Aire	Tambiente °C	Thumos °C	Pérdidas %	Rendimiento %	% CO2	Exc Aire	Tambiente °C	Thumos °C	Pérdidas %	Rendimiento %
13	1,22	20	240	10,6	89,4	12	1,29	20	240	11,2	88,8
			220	9,6	90,4				220	10,2	89,8
			200	8,7	91,3				200	9,1	90,9
			180	7,7	92,3				180	8,1	91,9
			160	6,7	93,3				160	7,1	92,9
			140	5,8	94,2				140	6,1	93,9
			120	4,8	95,2				120	5,1	94,9
			100	3,8	96,2				100	4,1	95,9
			80	2,9	97,1				80	3,0	97,0
			60	1,9	98,1				60	2,0	98,0
12,5	1,26	20	240	10,9	89,1	11,5	1,33	20	240	11,5	88,5
			220	9,9	90,1				220	10,4	89,6
			200	8,9	91,1				200	9,4	90,6
			180	7,9	92,1				180	8,4	91,6
			160	6,9	93,1				160	7,3	92,7
			140	5,9	94,1				140	6,3	93,7
			120	4,9	95,1				120	5,2	94,8
			100	4,0	96,0				100	4,2	95,8
			80	3,0	97,0				80	3,1	96,9
			60	2,0	98,0				60	2,1	97,9

Para gasóleo

Cualquier valor que podemos desear, no será factible si la cámara de combustión no lo permite, influyendo aspectos importantes como el diseño del hogar de la caldera, la superficie de intercambio, número de pasos y su estrechez, uso de turbuladores, sobrepresión que se producirá en la cámara de combustión al producirse la combustión, etc. Además influye el diseño del sistema de combustión del quemador, mezcla aire y combustible, la temperatura de ambos, etc.

Pero otros factores externos también influyen como las entradas de aire incontroladas, debidas a que las puertas no cierren correctamente.

Un elemento vital es la chimenea, pues será perjudicial tanto un exceso, como un defecto de tiro. Si el tiro es excesivo, los gases de la combustión saldrán demasiado pronto de la cámara de combustión y del intercambiador de calor aspirados por la chimenea. Y un defecto de tiro creará problemas de evacuación de los gases de la combustión, ensuciamiento del hogar, o ahogamiento de la llama.

En calderas con combustibles sólidos, el hollín depositado en paredes de pasos de humos y el hogar de la caldera crearán una capa aislante que impedirá la transmisión de calor al fluido portacalor, aumentando la temperatura de humos y disminuyendo rápidamente el rendimiento. Si siguiera acumulándose hollín alcanzaría la chimenea, seguiría aumentando la temperatura de humos, creando problemas de seguridad a la instalación, bienes y/o las personas.

Por tanto el primer criterio será reducir al mínimo los inquemados como el hollín (átomos de carbono sin quemar) y el peligroso monóxido de carbono (CO).

Recordemos que el CO es un átomo de carbono que no ha terminado de reaccionar para formar CO₂ y por tanto queda una parte de la energía por producirse. Por tanto, el valor de monóxido de carbono será inaceptable para un profesional si alcanza las 200 ppm.

Consideraciones sobre las calderas de condensación actuales

En los generadores actuales no hay más remedio que observar en el manual técnico los valores nominales indicados por el fabricante del conjunto caldera-quemador, siendo el ajuste óptimo si se consiguen los valores indicados por el fabricante en las condiciones que establezca de potencia, temperatura y situación del aparato (tapas de la caldera abiertas o cerradas).

Habrà que observar:

- Tiro o sobrepresión necesaria a la salida de la caja de humos del aparato.
- CO.
- % CO₂.
- Temperatura de humos.
- Sobrepresión cámara de combustión.
- Rango de potencia de funcionamiento.
- Rendimiento nominal a plena carga y a carga parcial.

No nos engañemos pensando que podemos lograr un rendimiento superior al declarado por el fabricante, u otros valores de funcionamiento.

Ejemplos de valores específicos de algunas marcas de calderas de condensación de gas:

ej. Caldera de 24 kW

Cámara abierta y mínima potencia

- Para GN $8,8 \pm 0,2$ % de CO₂.
- Para GLP $10,8 \pm 0,5$ % de CO₂.

Cámara cerrada y máxima potencia

- Para GN $9 \pm 0,2$ % de CO₂.
- Para GLP $11,1 \pm 0,5$ % de CO₂.

Si observan uno a uno esos valores, podrán ver que cambian. Además dependen de cómo se tomen los valores, o bien con la cámara abierta, o bien con la cámara cerrada. Pero si tomamos otro modelo del fabricante u otro generador incluso del mismo modelo pero distinta potencia, también cambiarán.

Si atendemos a los que nos indica otro fabricante, que matiza que su caldera de GN de 24 kW, a potencia máxima deberá producir un CO₂ entre 7,5-10,5 %, pero dejando

estos valores donde se consiga el menor valor de CO, que puede alcanzar 1 ppm.

Una vez realizado el ajuste a potencia máxima (mínimo CO), en el caso de Viessmann nos pide que volvamos a comprobar los valores a potencia mínima donde será aceptable una reducción del porcentaje de CO₂ entre 0,3 a 0,9 % por debajo del porcentaje a potencia máxima.

Para calderas de gasóleo de Wolf se nos indica que habrá que lograr unas determinadas temperaturas de humos, en el ajuste de la combustión, en función de la etapa de funcionamiento de un quemador de gasóleo. Y se nos indica que deberán lograrse con una presencia de oxígeno entorno al 5 %.

Otros fabricantes le dan mucha importancia a la sobrepresión de la cámara de combustión que deberá medirse con una columna de agua o un manómetro digital.

¿Por qué una caldera de condensación ofrece más rendimiento?

Recordemos que las calderas de condensación proporcionan un extra de rendimiento debido al aprovechamiento del calor latente al condensar los vapores de agua contenidos en los productos de la combustión.

En calderas de condensación se deberá utilizar la opción de medir la mejora del rendimiento debido al calor latente del vapor de agua condensada en el hogar de la caldera. Muchos analizadores disponen de esa opción (caldera de condensación).

Si el analizador no dispusiera de la opción condensación, se deberá añadir un complemento por condensación, α_{cond} , en función del combustible, porcentaje de oxígeno y la temperatura de humos.

$$\eta_{\text{corr}} = \eta_{\text{cmb}} + \alpha_{\text{cond}}$$

El complemento, α_{cond} , a añadir al rendimiento de la combustión obtenido será:

GAS NATURAL

%O ₂	Temperatura de los productos de la combustión en °C													
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	58	60	62	64
0	11,1	10,8	10,4	10,0	9,5	8,8	8,0	6,9	5,6	4,1	3,0	2,2	0,2	0,1
3	11,1	10,7	10,3	9,8	9,2	8,4	7,5	6,3	4,8	3,0	1,7	0,8		
6	11,0	10,7	10,2	9,6	8,9	7,9	6,8	5,3	3,6	1,4				
9	11,0	10,5	10,0	9,2	8,3	7,2	5,8	4,0	1,8					

GASOLEO EL

%O ₂	Temperatura de los productos de la combustión en °C													
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	58	60	62	64
0	6,0	5,7	5,3	4,9	4,4	3,7	2,9	1,8	0,5					
3	6,0	5,6	5,2	4,7	4,1	3,3	2,4	1,2						
6	5,9	5,6	5,1	4,5	3,8	2,8	1,7	0,2						

Lógicamente, si a la salida de la caldera existiera un recuperador de calor, el análisis de la combustión se realizaría a la salida del mismo.

Observamos que cada combustible tiene distinto poder fumígeno (cantidad de productos de la combustión), y en función de la proporción de los productos de la combustión (oxígeno o exceso de aire), una temperatura de rocío distinta que facilitará o evitará que se produzca la condensación del vapor de agua contenida en los productos de la combustión.

% O ₂	Gasóleo C	Gas Natural	Propano	% O ₂	Gasóleo C	Gas Natural	Propano
0	48,2	58,5	54,9	8,5	39,1	49,4	45,7
0,5	47,7	58,1	54,4	9	38,4	48,7	45,0
1	47,3	57,7	54,0	9,5	37,7	47,9	44,2
1,5	46,9	57,2	53,6	10	36,9	47,2	43,5
2	46,4	56,8	53,1	10,5	36,2	46,3	42,6
2,5	45,9	56,3	52,6	11	35,3	45,5	41,8
3	45,5	55,8	52,1	11,5	34,5	44,6	40,9
3,5	45,0	55,3	51,6	12	33,5	43,6	39,9
4	44,5	54,8	51,1	12,5	32,6	42,6	39,0
4,5	43,9	54,3	50,6	13	31,6	41,6	37,9
5	43,4	53,8	50,1	13,5	30,5	40,4	36,8
5,5	42,9	53,2	49,5	14	29,3	39,2	35,6
6	42,3	52,6	48,9	14,5	28,1	38,0	34,3
6,5	41,7	52,0	48,3	15	26,8	36,6	33,0
7	41,1	51,4	47,7	15,5	25,4	35,1	31,5
7,5	40,5	50,8	47,1	16	23,8	33,5	29,9
8,0	39,8	50,1	46,4	16,5	22,1	31,7	28,2

Así el ajuste de un quemador propiciará o evitará la condensación, al variar el punto de rocío del vapor de agua contenida en los productos de la combustión.

En la tabla anterior se observa que, para las mismas condiciones de % de oxígeno en los humos, la temperatura de rocío es superior en gas natural respecto al propano, y aún más respecto al gasóleo. Ello implica que será más fácil que un generador alimentado con gas natural esté condensando que, por ejemplo si está alimentado con gasóleo, pues cuando la temperatura del intercambiador humos-agua esté a temperatura superior a la temperatura de condensación, la condensación del vapor de agua de los productos de la combustión (PdC) no se producirá.

Para que exista condensación, la temperatura del intercambiador humos-agua, deberá estar por debajo de la temperatura de rocío de los humos.



Es importante realizar una última prueba de combustión antes de dar por concluido el trabajo asegurándose que las puertas y ventanas del local que alberga el aparato están cerradas, y por supuesto las chapas de caldera y quemador cerradas.

Recuerda dejar la toma de muestras obturada con un tapón resistente a la temperatura y los ácidos de los humos.

Potencia de combustión en generadores alimentados con combustible líquido. Potencia de combustión para un combustible líquido con contador.

Se deberá medir el consumo volumétrico V'_{if} if de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Se verifica que no existen otros dispositivos que consuman combustible a partir del mismo contador durante la medición;
- Se estabiliza el funcionamiento del quemador a la potencia que se quiere medir;
- Se mide el consumo volumétrico V'_{if} , en el intervalo de tiempo determinado, referenciándolo al consumo en 1 hora. Si se han medido 1 litro en 15 minutos, el caudal V_{if} obtenido será: 4 l/h.
- Se calcula la potencia de combustión, Φ_{cmb} , de acuerdo a:

$$\Phi_{cmb} = V'_{if} \times H_x$$

o bien,

$$\Phi_{cmb} = V'_{if} \times \rho_{if} \times H_x$$

En función de las unidades de poder calorífico, H_x del combustible. Donde ρ_{if} es la densidad del combustible en caso de que el dato del poder calorífico venga referido a consumo másico.

Se deberá registrar si la potencia de combustión, Φ_{cmb} , está referida al poder calorífico inferior o superior. Dado que la potencia consumida por un generador, el consumo calorífico, está referido al poder calorífico inferior H_i , sería recomendable expresar el resultado de la potencia de combustión referida al mismo.

Recordemos que consumo calorífico nominal, Q_n , es el máximo consumo calorífico que declara el fabricante que consume el generador.

Ejemplo 1.

Se pone en funcionamiento un generador alimentado con gasóleo durante 5 minutos a plena potencia y se toma la lectura del contador al inicio y finalización de ese tiempo.

Lectura 1: 2,756 l.

Lectura 2: 3,105 l.

Por tanto, el consumo de combustible habrá sido: $3,105 - 2,756 = 0,349$ litros en 5 minutos.

Así el consumo de combustible a la hora (en 60 minutos) será: $0,349 \div 5 \times 60 = 4,188$ l/h.

Para la determinar la potencia de combustión se ofrece el dato del poder calorífico inferior y densidad del combustible:

Supongamos los siguientes datos: $H_i = 11,74$ kWh/kg, $d = 850$ kg/m³.

Se deberá referir el poder calorífico o caudal, ambos a volumen o masa.

$$d = 850 \text{ kg/m}^3 = 0,85 \text{ kg/dm}^3 = 0,85 \text{ kg/l}$$

Aplicamos:

$$\Phi_{cmb} = V'_{if} \times \rho_{if} \times H_i$$

Resultando:

$$\Phi_{cmb} = 4,188 \text{ l/h} \times 0,85 \text{ kg/l} \times 11,74 = 41,79 \text{ kW (referida al } H_i)$$

Potencia de combustión para un combustible líquido (o sólido) sin contador.

Cuando no se dispone de un contador, y en el caso de combustibles líquidos o sólidos, se puede determinar la cantidad de combustible alimentando el quemador a partir de un depósito provisional. En ese caso se recurrirá a pesar el combustible antes y después del tiempo de duración de la prueba.

Ejemplo 2.

Se coloca sobre una báscula un depósito provisional de gasóleo de 5 litros, el cual pesa al inicio de la prueba 4,5 kg. Una vez transcurridos 10 minutos, el peso del depósito de combustible es 4,1 kg.

En este ejemplo el consumo de combustible ha sido; $4,5 - 4,1 = 0,4$ kg en 10 minutos.

Así el consumo en 60 minutos (1 hora) sería: $0,4 \div 10 \times 60 = 2,4$ kg/h.

Con el dato del poder calorífico del gasóleo de 11,74 kWh/kg, y aplicando:

$$\Phi_{\text{cmb}} = 2,4 \text{ kg/h} \times 11,74 \text{ kWh/kg} = 28,18 \text{ kW (referido al H}_1\text{)}$$

En el caso de combustibles sólidos también se puede emplear este método siempre que el generador tenga un sistema de alimentación como un sinfín que se pueda colocar en un recipiente colocado en el que se pueda pesar el combustible (por ejemplo, pellets) al inicio y finalización de la prueba. En este caso el sinfín deberá haberse cebado antes del inicio de la prueba, teniendo previamente encendido el quemador del generador, y seleccionando la máxima potencia en su cuadro de control.

Otras opciones para determinar la potencia de combustión para un combustible líquido

También puede determinarse el consumo de combustible observando el inyector instalado en el quemador y la presión de inyección de combustible.

Empleando en este último caso una tabla del fabricante se determinará el consumo volumétrico (o másico) y la potencia consumida por el quemador del generador de calor.

Ejemplo de tabla de selección de boquillas:

Resumen de boquillas para **Quemadores Mecánicos a Gasóleo** realizado por **FORMATEC**

G.P.H	Caudales de una boquilla en función de la presión de la bomba gasóleo													
	Presión de la bomba, en bar													
	7		9		10		11		12		13		14	
	l/h	kW	l/h	kW	l/h	kW	l/h	kW	l/h	kW	l/h	kW	l/h	kW
0,40	1,5	15,23	1,7	17,26	1,8	18,24	1,9	18,82	1,9	19,65	2,0	20,41	2,1	21,18
0,50	1,9	19,23	2,1	21,18	2,3	23,28	2,4	24,22	2,5	25,30	2,6	26,33	2,7	27,32
0,55	2,1	20,76	2,3	23,53	2,4	24,71	2,6	25,91	2,7	27,07	2,8	28,35	2,9	29,42
0,60	2,3	23,28	2,6	25,89	2,7	27,32	2,9	29,07	3,0	30,36	3,1	31,21	3,2	32,38
0,65	2,5	25,30	2,7	27,65	2,9	29,35	3,2	31,97	3,3	33,40	3,3	33,16	3,4	34,41
0,75	2,8	28,34	3,1	31,77	3,5	35,42	3,6	36,82	3,8	38,46	3,9	39,01	4,0	40,48
0,85	3,2	32,38	3,6	36,48	3,8	38,46	4,1	41,66	4,3	43,52	4,3	43,88	4,5	45,54
1,00	3,8	38,46	4,2	42,36	4,5	45,54	4,8	48,45	5,0	50,60	5,0	50,71	5,2	52,62
1,10	4,1	41,49	4,7	47,07	4,8	48,58	5,2	52,32	5,4	54,65	5,5	55,59	5,7	57,68
1,20	4,5	45,54	5,2	52,80	5,5	55,66	5,6	57,17	5,9	59,71	6,1	61,44	6,3	63,76
1,35	5,1	51,61	5,9	59,52	6,2	62,74	6,4	64,92	6,7	67,80	6,8	69,24	7,1	71,85
1,50	5,7	57,68	6,5	65,28	6,8	68,82	7,1	71,70	7,4	74,89	7,8	78,99	8,1	81,97
1,65	6,2	62,74	7,1	72,01	7,5	75,90	7,9	80,42	8,3	84,00	8,5	85,82	8,8	89,06
1,75	6,6	66,79	7,6	76,81	8,0	80,96	8,5	86,23	8,9	90,07	9,1	91,67	9,4	95,13
2,00	7,6	76,91	8,7	88,33	9,2	93,10	9,7	97,86	10,1	102,21	10,5	106,30	10,9	110,31

En sistemas monotubulares el consumo de combustible se puede determinar instalando un contador provisional y aplicando el método del punto anterior.

Ejemplo 3.

Un quemador tiene instalado un inyector de 0,55 galones por hora (G.P.H) y se inyecta una presión de 12 bar a dicho inyector (boquilla).

La potencia de combustión, aplicando la tabla anterior será:

$$\text{Caudal} = 2,7 \text{ l/h y } \Phi_{\text{cmb}} = 27,07 \text{ kW (referida al poder calorífico inferior).}$$

Anotemos que las tablas de pulverización tienen un margen de error de un 4 %.

Potencia de combustión para generadores alimentados por un combustible gaseoso Potencia de combustión para un combustible gaseoso con contador.

El procedimiento se iniciará verificando que no hay otros aparatos que consumen gas alimentados desde el mismo contador durante la medición. Para ello se cerrarán las llaves de aparato del resto de aparatos conectados a la instalación receptora de gas que emplea el contador como elemento común.

- Se selecciona la potencia a la que se desea determinar la potencia de combustión, y se verifica que durante la prueba el generador mantiene la potencia seleccionada.
- Se verifica la presión de gas.
- Se estabiliza el funcionamiento del quemador a la potencia a la que se quiere medir, comprobándose que durante la prueba el generador no cambia de potencia respecto de la potencia seleccionada a la que se desea realizar la prueba.
- Se mide el consumo volumétrico, V'_{gas} , entre 2 tomas. Durante la prueba el generador deberá mantener la potencia seleccionada. Esta duración debería durar al menos entre 5 y 10 minutos, sin que se produzca la modulación del quemador de la caldera.
- En el caso de que:
 - o La presión de gas sea superior a 20 mbar, o;
 - o La temperatura del gas difiere en más de 10 °C del valor correspondiente a las condiciones de referencia (15 °C), o;

Se debe medir la temperatura y/o presión en el punto de medición del consumo y realizar la siguiente corrección:

$$f_{\text{vol}} = \frac{P_{\text{abs meas}}}{P_{\text{abs ref}}} \frac{T_{\text{ref}}}{T_{\text{meas}}}$$

Donde,

T_{meas} es la temperatura medida expresada en Kelvin (temperatura absoluta), y T_{ref} es la temperatura de referencia (288,15 K = 15 °C).

$P_{\text{abs meas}}$ es la presión absoluta medida, igual a la presión relativa medida, más la presión atmosférica (p.e. 1013,25 mbar), y $P_{\text{abs ref}}$ es la presión absoluta de referencia (1013,25 mbar).

Si la localidad se encuentra a una altitud superior a 300 metros sobre el nivel del mar se puede obtener la presión atmosférica aplicando:

$$P_t = 1013,25 (1 - 2,25577 * 0,00001 * z)^{5,2559}$$

donde:

z es altura sobre el nivel del mar (m)

Así el consumo volumétrico de gas corregido, $V'_{\text{gas corr}}$, será:

$$V'_{\text{gas corr}} = V'_{\text{gas meas}} \times f_{\text{vol}}$$

Donde $V'_{\text{gas meas}}$ es el consumo volumétrico medido.

Ejemplo 4.

Estimar la presión atmosférica de una localidad que se encuentra a 700 metros sobre el nivel del mar.

Dado que la altitud es superior a 300 metros, podemos aplicar la expresión anterior para la cota, $z = 700$, obteniendo:

$$P_t = 1013,25 (1 - 2,25577 \cdot 0,00001 \cdot 700)^{5,2559}$$

$$P_t = 931,94 \text{ mbar}$$

Se calcula la potencia de combustión, Φ_{cmb} de acuerdo con:

$$\Phi_{\text{cmb}} = V'_{\text{gas corr}} \times H_x$$

Se deberá registrar si la potencia de combustión, Φ_{cmb} , está referida al poder calorífico inferior (Hi), o superior (Hs), en condiciones de referencia o estándar (a 1013,25 mbar y 15 °C).

Los fabricantes de generadores ofrecen el dato del consumo calorífico nominal de sus generadores referencial al poder calorífico inferior.

Ejemplo 5.

Se realiza una medición del consumo de combustible de una caldera mixta alimentada con propano a una presión de 150 mbar, cuyo gas tiene una temperatura en el punto de conteo de 20 °C (293,15 K).

Lectura inicial del contador: 12.344,355 m³.

Lectura final del contador: 12.345,122 m³.

Consumo durante 5 min: 0,767 m³.

En una hora (60 min) el caudal volumétrico será: $0,767 \div 5 \times 60 = 9,204 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dado que la presión es muy superior a 1013,25 mbar, se realizará una corrección por presión y temperatura (aunque la diferencia no supera los 10 °C, respecto a la temperatura de referencia de 15 °C).

$$f_{\text{vol}} = \frac{P_{\text{abs meas}}}{P_{\text{abs ref}}} \frac{T_{\text{ref}}}{T_{\text{meas}}} = \frac{150 + 1013,25}{1013,25} \frac{288,15}{293,15} = 1,13$$

El volumen corregido, $V'_{\text{gas corr}}$, será:

$$V'_{\text{gas corr}} = V'_{\text{gas meas}} \times f_{\text{vol}} = 9,204 \times 1,13 = 10,386 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para el dato del poder calorífico inferior del gas natural de 10,56 kWh/m³ (por ejemplo), se calcula la potencia de combustión, Φ_{cmb} de acuerdo con:

$$\Phi_{\text{cmb}} = V'_{\text{gas corr}} \times H_i = 10,386 \times 10,56 = 109,68 \text{ kW}$$

Tablas de datos de diversos combustibles.

La Guía del IDAE nº 5 Procedimiento de Inspección Periódica de Eficiencia Energética para Calderas ofrece datos de diversos combustibles comercializados en España.

COMBUSTIBLES SÓLIDOS

	Densidad	PCI (Hi)				PCS (Hs)
	kg/m ³	kcal/kg	kWh/kg	te/kg	MJ/kg	MJ/kg
Antracita	875	8194	9,53	8,19	34,30	34,70
Madera seca		4539	5,28	4,54	19,00	
Madera húmeda		3440	4,00	3,44	14,40	

COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

	Densidad	PCI (Hi)				PCS (Hs)
	kg/m ³	kcal/kg	kWh/kg	te/kg	MJ/kg	MJ/kg
GLP Propano	506 (20°C)	11.073	12,88	11,07	46,35	50,45
GLP Butano	580 (20°C)	10.939	12,72	10,94	45,79	49,68
Queroseno	780	10.368	12,06	10,37	43,40	46,50
Gasóleo C	850	10.099	11,74	10,10	42,28	43,12
Fuelóleo nº 1	944	9.699	11,28	9,70	40,60	42,70

COMBUSTIBLES GASEOSOS

	Densidad relativa ¹⁾	PCI (Hi)				PCS (Hs)
		kcal/kg	kWh/kg	te/kg	MJ/kg	MJ/kg
Gas Natural	0,63 ²⁾	9.228	10,73	9,23	38,63	42,92
GLP Propano	1,85 ³⁾	20.484	23,8	20,5	85,7	93,3
GLP Butano	2,41 ³⁾	26.253	30,5	26,3	109,9	119,2

¹⁾ Densidad relativa respecto del aire. Para obtener la densidad real multiplicar por 1,29 kg/m³ en condiciones normales (a 0 °C), o por, 1,19 kg/m³ en condiciones de referencia (a 20 °C).

²⁾ Este valor varía en función del yacimiento, oscilando entre 0,58 y 0,66.

³⁾ Densidad relativa a 20 °C.

Podrán utilizarse otros valores provenientes de un documento reconocido. Además, debe tenerse en cuenta que el valor del poder calorífico del gas natural está continuamente cambiando, dependiendo de la localización geográfica, y del día y mes de la realización de la muestra.

Aspectos importantes a considerar.

Es importante documentar todo lo ocurrido durante la prueba, así como anotar marca, modelo y precisión de los instrumentos de medida empleados.

Se comprobará que los instrumentos de medida son adecuados a la medición a realizar. Tanto a la naturaleza de la medición como a los rangos de medida necesarios y con la incertidumbre deseada.

El RITE actual, desde 2013, exige que las calderas tengan instalados contadores de energía consumida en instalaciones superiores a 70 kW que permitan la lectura del consumo energético de la central térmica de modo independiente de la del resto del edificio.

En el caso de una instalación de gas natural o propano, se puede emplear el contador de gas general, siempre que se asegure que durante la prueba el resto de la instalación no está consumiendo gas. Los contadores de gas pueden tener una incertidumbre de $\pm 1 \%$.

En el caso de generadores alimentados con gasóleo, si no existe contador de gasóleo, se podrá instalar uno fácilmente. Estos contadores tienen una incertidumbre de $\pm 1 \%$.

En las medidas de temperatura se procurará que el sensor de temperatura penetre en el fluido a través de vainas y se rellene el espacio entre el sensor y la vaina o la tubería con masilla conductora.

Debemos realizar medidas de 2 lecturas en los contadores separadas entre 5 y 10 minutos comprobando que el generador mantiene el nivel de potencia seleccionado durante la prueba.

Desajuste de potencia.

Para observar si existe desajuste de potencia se debe comparar la potencia de combustión, Φ_{cmb} , con la potencia consumida por la caldera, Q (consumo calorífico). Considerándose que existe desajuste de potencia cuando la diferencia entre ambas potencias es superior al 10 %.

$$\text{Desajuste potencia (\%)} = \frac{|Q - \Phi_{cmb}|}{Q} \times 100$$

Ejemplo 6.

Una caldera de pellets consume 18,2 kg de pellets a plena potencia en un tiempo de 15 minutos. La caldera tiene un consumo calorífico nominal de 300 kW, y se desea conocer si hay desajuste de potencia.

El pellet empleado en la combustión tiene un poder calorífico inferior de 5,1 kWh/kg.

En este caso tenemos el consumo másico (en masa) de combustible, $M'_{if} = 18,2 \text{ kg} \div 15 \times 60 = 72,8 \text{ kg/h}$.

Una vez obtenido el caudal de combustible, se obtiene la potencia de combustión, aplicando la misma expresión, en la que podemos observar que las unidades son coherentes al estar tanto el caudal, como el poder calorífico referidas a la masa.

- $\Phi_{cmb} = M'_{if} \times H_i$

Recordemos que, en el caso de emplear pellets certificados, se puede emplear el valor ofrecido en la Norma de Certificación del producto, la UNE-EN-ISO 17.225, que para el pellet calidad A1 establece un poder calorífico inferior, $H_i \geq 16,5 \text{ MJ/kg}$ (4,58 kWh/kg).

Dado que tenemos el poder calorífico inferior del combustible, el cual suele venir certificado por el distribuidor de pellets, $H_i = 5,1 \text{ kWh/kg}$. En este caso obtenemos:

- $\Phi_{cmb} = 72,8 \text{ kg/h} \times 5,1 \text{ kWh/kg} = 371,28 \text{ kW}$.

Dado que el consumo calorífico nominal, $Q_n = 300 \text{ kW}$. Podemos calcular el desajuste de potencia:

$$\text{Desajuste potencia} = \frac{|300 - 371,28|}{300} \times 100 = \frac{71,28}{300} \times 100 = 24 \%$$

En este caso se observa que se ha sobrepasado el consumo calorífico nominal del aparato, existiendo un notable desajuste de potencia que deberá ser corregido.

También es sencillo obtener el caudal de combustible nominal que debe recibir un quemador aplicando:

$$\text{Caudal Combustible} = \frac{\text{Consumo Calorífico Nominal}}{\text{Poder Calorífico nominal}}$$

El caudal de combustible será volumétrico o másico, en función de las unidades del Poder Calorífico.

Con nuestro agradecimiento a
Javier Ponce, autor de este Documento
Miembro del Comité Técnico de la
Confederación Nacional de Instaladores, CNI

Con la colaboración de:

