

Be sure.



Guía práctica Técnica de medición para combustión.

Indicaciones prácticas, consejos y trucos.

Derechos de autor, garantía y responsabilidades

La información recogida en esta guía práctica está protegida por derechos de autor. Todos los derechos pertenecen exclusivamente a Testo AG. Tanto el contenido como las ilustraciones no pueden ser reproducidos, modificados ni utilizados con fines comerciales para otro propósito diferente al expresado aquí sin el previo consentimiento de Testo AG.

La información de esta guía práctica ha sido recopilada con el máximo rigor. No obstante, la información proporcionada no es vinculante y Testo AG se reserva el derecho a efectuar modificaciones o ampliaciones. Por tanto, Testo AG no asume responsabilidad ni garantía alguna por la corrección e integridad de las informaciones ofrecidas. Queda excluida cualquier responsabilidad por daños, ya sean directos o indirectos, que deriven del uso de esta cartilla práctica, siempre que estos no hayan sido por dolo o imprudencia temeraria.

Testo AG, junio de 2014

Prólogo

Estimada lectora,
estimado lector:

Esta guía presenta una vista general de los parámetros de medición, las tareas y las técnicas de medición para el sector de las calefacciones. Ofrece respuestas competentes a preguntas frecuentes que surgen en la práctica y están basadas en las experiencias a nivel mundial de los usuarios de los instrumentos Testo.

El usuario nuevo obtiene con ello una impresión general sobre la legislación correspondiente (con ejemplos específicos de la legislación alemana) y sobre los valores límite que deben cumplirse durante la medición de emisiones. Para el profesional experimentado en la medición de gases de combustión es una guía de referencia valiosa sobre las disposiciones actuales.

Los consejos y trucos, de la práctica y para la práctica, ofrecen recomendaciones para el uso de instrumentos de medición portátiles de gases de combustión. La guía le evita tener que invertir tiempo y esfuerzo en la búsqueda a través de diferentes fuentes.

Cualquier comentario o propuesta de mejora por su parte serán bienvenidas en todo momento.



Wolfgang Schwörer, Director de Gestión de productos

Índice

1. ¿Qué es el gas de combustión?	6
1.1 Las unidades de medida	7
1.2 Los componentes del gas de combustión	9
2. Combustibles	16
2.1 Combustibles sólidos	16
2.2 Combustibles líquidos	19
2.3 Combustibles gaseosos	20
3. Cámaras de combustión	22
3.1 Principio de funcionamiento de una cámara de combustión	22
3.2 El estado actual en la construcción de calderas	23
3.3 Clasificación de cámaras de combustión por combustibles	25
3.3.1 Calderas para combustibles sólidos	25
3.3.2 Cámaras de combustión de gas	26
3.3.3 Quemadores de aceite	29
3.3.4 Otros tipos de quemadores	32
4. Disposiciones legales para mediciones en instalaciones de calefacción	34
4.1 Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos (RD 919/2006)	34
4.2 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RD1027/2007)	36
5. Tareas de medición en la instalación de calefacción	38
5.1 Prueba de funcionamiento y ajustes en las cámaras de combustión por gas	38
5.2 Prueba de funcionamiento y ajustes en las cámaras de combustión por aceite	58
5.3 Control	62

6. Instrumentos de medición para el análisis de gases de combustión	70
6.1 Los sensores	70
6.2 Funcionamiento de un sensor químico de dos/tres electrodos	70
6.2.1 Funcionamiento de un sensor químico de dos electrodos	71
6.2.2 Funcionamiento de un sensor químico de tres electrodos para gases tóxicos	72
6.3 Funcionamiento de un sensor semiconductor para gases combustibles	73
6.4 Sensor de partículas finas	74
6.5 El sistema electrónico	74
6.6 La construcción	75
7. Anexo	76
7.1 Fórmulas de cálculo	76
7.2 Presentación de los instrumentos Testo	78

1. ¿Qué es el gas de combustión?

Debido al creciente número de combustiones de todo tipo, se carga el medio ambiente con concentraciones de sustancias tóxicas cada vez mayores. La formación de smog, la aparición de lluvia ácida y el creciente número de alergias son consecuencias directas de esta evolución. Por este motivo, el camino hacia una obtención

de energía respetuosa con el medio ambiente debe estar en la limitación de las sustancias tóxicas. Las sustancias tóxicas de los gases de combustión solo pueden limitarse de forma efectiva si las plantas existentes funcionan de forma óptima o se ponen fuera de servicio las cámaras de combustión tóxica. Con ayuda de



Fig. 1: Composición de los productos de la combustión

un análisis de gases de combustión se calculan las concentraciones de sustancias tóxicas y se ajustan las instalaciones de calefacción de forma óptima.

Los combustibles contienen básicamente carbono (C) e hidrógeno (H₂). El aire de combustión se compone de oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂) y una parte baja de gases residuales y vapor de agua.

Al quemar los combustibles en el aire se consume oxígeno (O₂).

Este proceso se denomina oxidación.

Los elementos del aire de combustión y del combustible forman nuevos enlaces.

1.1 Las unidades de medida

ppm (partes por millón)

Las sustancias tóxicas en el gas de combustión vienen determinadas por la concentración de los componentes del gas. Generalmente se emplean las siguientes unidades:

La unidad ppm representa una relación al igual que el dato “porcentaje (%)”.

El porcentaje significa “algunas partes de cien partes”, ppm significa “algunas partes de un millón de partes”. Si en una bombona de gas hay, por ejemplo, 250 ppm de monóxido de carbono (CO) y extraemos un millón de partículas de esta bombona, entonces

habrá 250 de partículas de monóxido de carbono y 999.750 de partículas de nitrógeno (N₂) y de oxígeno (O₂). La unidad ppm es independiente de la presión y la temperatura y se emplea en concentraciones bajas. Si hay concentraciones mayores disponibles, estas se indican en porcentaje (%).

La conversión es la siguiente:

10.000 ppm	= 1 %
1.000 ppm	= 0.1 %
100 ppm	= 0.01 %
10 ppm	= 0.001 %
1 ppm	= 0.0001 %

Una concentración de nitrógeno del 21 Vol. % correspondería a una concentración de 210.000 ppm de O₂.

¿Qué es el gas de combustión?

mg/Nm³

(miligramos por metro cúbico)

En la unidad mg/Nm³ se usa el volumen normalizado (metro cúbico normalizado, Nm³) como dimensión de referencia y la masa del gas tóxico se indica en miligramos (mg). Debido a que esta unidad es dependiente de la presión y la temperatura, se hace referencia al volumen bajo condiciones normales:

Temperatura: 0 °C

Presión: 1.013 mbar (hPa)

Este dato solo no es decisivo ya que, dependiendo de la parte de oxígeno (dilución de los productos de la combustión en el aire), las relaciones de volumen cambian en los productos de la combustión. Por este motivo, los valores de medición deberán calcularse para un volumen de oxígeno determinado, la parte de oxígeno relativa (relación O₂). Solo pueden compararse directamente los

datos con la misma parte de oxígeno relativa. La parte de oxígeno medida (O₂) en los productos de la combustión también es necesaria al convertir el ppm en mg/Nm³. A continuación se describen las conversiones para monóxido de carbono (CO) y óxido nítrico (NO_x).

Los factores incluidos en las fórmulas se corresponden con la densidad normalizada de los gases mg/m³.

mg/kWh

(miligramos por kilovatio hora de energía empleada)

Para calcular las concentraciones de sustancias tóxicas en la unidad relativa a la energía mg/kWh se realizan cálculos con datos específicos del combustible. Según el combustible resultan diferentes factores de conversión. A continuación se muestran los factores ppm y mg/m³ en la unidad relativa a la energía mg/kWh. Antes de la conversión en mg/kWh

$$\text{CO (mg/m}^3\text{)} = \left[\frac{21 - \text{relación O}_2}{(21 - \text{O}_2)} \right] \times \text{CO (ppm)} \times 1.25$$

$$\text{NO}_x \text{ (mg/m}^3\text{)} = \left[\frac{21 - \text{relación O}_2}{(21 - \text{O}_2)} \right] \times 2.05 \times (\text{NO (ppm)} + \text{NO}_2 \text{ (ppm)})$$

Conversión en mg/Nm³

deben convertirse las concentraciones de los valores de emisión medidos en los productos de la combustión no diluidos (0 % contenido de oxígeno relativo) (v. anexo 13.1).

En combustibles sólidos los factores de conversión dependen además también de la forma disponible del combustible (por piezas, viruta, polvo, trozos, etc.). Por este motivo, para estos combustibles debe realizarse una consulta especial.

1.2 Los componentes del gas de combustión

Los elementos contenidos en el gas de combustión aparecen a continuación ordenados según las concentraciones

que se dan en los productos de la combustión.

Nitrógeno (N₂)

El nitrógeno (N₂) es el elemento principal del aire que respiramos (79 Vol. %). Este gas incoloro, inodoro e insípido no forma parte de la combustión. Se lleva como lastre a la cámara de combustión y se pasa calentado por la chimenea.

Valores típicos en los productos de la combustión:

*Cámaras de combustión de aceite/
gas: 78 % – 80 %*

Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono es un gas

Gasóleo para calefacción EL		
CO	1 ppm = 1.110 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.900 ppm
	1 mg/m ³ = 0.889 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.125 mg/m ³
NO _x	1 ppm = 1.822 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.549 ppm
	1 mg/m ³ = 0.889 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.125 mg/m ³
Gas natural h (G20)		
CO	1 ppm = 1.074 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.931 ppm
	1 mg/m ³ = 0.859 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.164 mg/m ³
NO _x	1 ppm = 1.759 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.569 ppm
	1 mg/m ³ = 0.859 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.164 mg/m ³

Fig. 2: Factores de conversión para unidades relacionadas de energía

¿Qué es el gas de combustión?

incolore e inodoro con un sabor ligeramente ácido. Por la influencia de la luz solar y del pigmento de color verde, clorofila, las plantas transforman el dióxido de carbono (CO_2) en oxígeno (O_2). La respiración de los humanos y de los animales vuelve a convertir el oxígeno en dióxido de carbono. Este equilibrio estaría garantizado si no fuera por los gases de combustión. Esta alteración favorece el efecto invernadero. La concentración máxima permitida en el puesto de trabajo para CO_2 es de 5.000 ppm.

Valores típicos en los productos de la combustión: cámaras de combustión de sólidos: 11 – 15 %; cámaras de combustión de aceite: 10 – 12,5 %; cámaras de combustión de gas: 8 – 11 %

Vapor de agua (humedad)

El hidrógeno contenido en el combustible se enlaza con oxígeno para convertirse en agua (H_2O). Según la temperatura de los humos (TH) este aparece como humedad del gas de combustión (a TH elevada) o como agua condensada (a TH baja) junto con el agua del combustible y del aire de combustión. En la combustión de hidrógeno se forma vapor de agua. 1 kg de H_2 requiere 8 kg de O_2 para una combustión completa, de la

que se forman 9 kg de agua como producto de la combustión. El “agua de combustión” aparece en forma de vapor en la combustión convencional y la cantidad depende del tipo de combustible. El gas natural (CH_4) tiene el máximo contenido de H_2 (aprox. 22 %) y el coque (aprox. 3 %) el mínimo. En el vapor de agua de los gases de combustión (parte hasta 15 Vol. %) hay energía (energía de evaporización) que se emplea en la técnica de valores caloríficos.

Oxígeno (O_2)

El resto de oxígeno no utilizado en caso de exceso de aire en la combustión aparece como parte gaseosa en los humos y es un factor de medición para determinar el rendimiento de la combustión. Se emplea para calcular la pérdida de calor de la combustión y el contenido de dióxido de carbono.

Valores típicos en los productos de la combustión: 4 – 10%

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas asfixiante incoloro e inodoro y el producto de una combustión incompleta. El CO tiene la misma densidad que el aire, al contrario que el CO_2 , que es más pesado y se acumula por tanto sobre el suelo.

A una concentración muy elevada impide la absorción de oxígeno de la sangre. CO actúa como hemotoxina formando la carboxihemoglobina. El CO está ligado con una fuerza 300 veces mayor en la hemoglobina que en el oxígeno. Si en un espacio hay aire con, por ejemplo, 700 ppm de CO, esto produciría la muerte de una persona que respire este aire en tres horas. La concentración máxima permitida en el puesto de trabajo es de 30 ppm. Si el carbono se quema a causa de una falta de oxígeno para convertirse en monóxido de carbono, solo $\frac{1}{3}$ de la energía se convierte en calor y $\frac{2}{3}$ son pérdidas!

Valores típicos en los productos de la combustión: cámara de combustión de sólidos: menor de 500 ppm; cámaras de combustión de aceite: menor de 300 ppm; cámaras de combustión de gas: menor de 200 ppm

Óxidos nítricos (NO_x)

A altas temperaturas (combustión) el nitrógeno (N₂) contenido en el combustible y en el aire del entorno se enlaza con el oxígeno del aire (O₂) para convertirse en óxido nítrico (NO). Este gas incoloro se oxida en combinación con oxígeno (O₂) trascurrido cierto tiempo y se convierte en dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO₂ es una

toxina soluble para el pulmón que al respirarlo provocará daños graves en los pulmones y, en combinación con radiación ultravioleta (luz solar), contribuye a la formación de ozono. La suma de las partes de NO y de NO₂ se denomina óxido nítrico (NO_x). El valor MAK es de 5 ppm. La formación de óxidos nítricos depende del nitrógeno enlazado en el combustible, del tiempo que el nitrógeno permanece en el área de las llamas (longitud de la llama) y de la temperatura de estas. A temperaturas de llamas por encima de los 1.300 °C la formación de NO_x aumenta considerablemente. Los procesos de formación de NO_x pueden evitarse mediante técnicas de combustión modernas, una "llama fría"; la circulación del gas de combustión y un exceso de aire bajo.

Valores típicos en los productos de la combustión:

Cámaras de combustión de aceite/gas: menor de 100 ppm

Un **NO_x** repentino se forma durante la combustión a través del oxígeno libre (exceso de aire) en la zona de reacción de la llama.

El **combustible NO_x** se forma a altas temperaturas de combustión por el enlace de la parte de nitrógeno contenida en el combustible (gasóleo

¿Qué es el gas de combustión?

para calefacción, carbones) con el oxígeno. Esta reacción enlaza los calores. En la combustión de gas natural no se forma NO_x ya que no está enlazado con nitrógeno.

Para el NO_x térmico son decisivos la concentración de oxígeno durante la combustión, el tiempo de permanencia del aire de combustión en el área de la llama (longitud de la llama) y la temperatura de las llamas (formación térmica de NO_x baja hasta 1.200 °C, fuerte a partir de los 1.400 °C y máxima a partir de los 1.800 °C).

Dióxido de azufre (SO_2)

El SO_2 es un gas tóxico incoloro con un olor penetrante. Se forma por el azufre contenido en el combustible y es un gas irritante para vías respiratorias y ojos. La concentración máxima permitida en el puesto de trabajo es de 5 ppm. En combinación con agua (H_2O) o agua condensada se forma ácido sulfuroso (H_2SO_3).

Valor típico de los productos de la combustión en cámaras de combustión de aceite: 180 – 220 ppm

Azufre (sulfuro) - S

El azufre es una sustancia química muy activa, sólida y de color amarillo verdoso. En combinación con el calor puede enlazarse con prácticamente

todos los elementos. 1 kg de S requiere 1 kg de O_2 para arder. Temperatura de autoignición: 260 °C.

Trióxido de azufre (SO_3)

Una parte del SO_2 (aprox. 3-7 %) se oxida en la combustión para convertirse en SO_3 . Esta sustancia blanca sólida absorbe mucha agua, formándose ácido sulfúrico ($\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$), un componente de la lluvia ácida.

Hidrocarburos no quemados (C_xH_y)

Los C_xH_y se forman durante una combustión incompleta y favorecen el efecto invernadero. A este grupo pertenecen, entre otros, el metano (CH_4), el butano (C_4H_{10}) y el benceno (C_6H_6). Las causas para la formación son similares a las del CO: carburación y mezcla incompletas con gasóleo para calefacción y falta de aire en gas natural o combustibles sólidos. La constatación es complicada en lo que a técnica de medición se refiere, por lo que a la hora de medir se utiliza en la práctica un test de derivados del petróleo con el gasóleo para calefacción y la medición de CO con el gas natural. En las cámaras de combustión de aceite los hidrocarburos se hacen patentes debido a sus gases de combustión "apestantes".

Valor típico de los productos de la combustión en cámaras de combustión de aceite: < 50 ppm

Hollín

El hollín está prácticamente compuesto solo de carbono (C) puro y se forma en la combustión no completa en instalaciones de aceite. A temperaturas normales el carbono reacciona muy lentamente. 1 kg de C requiere 2.67 kg de O₂ para una combustión completa. Temperatura de autoignición: 725 °C. Si no se alcanza esta temperatura, se formará hollín.

*Valor típicos en el gas de escape: cámaras de combustión de aceite: número de opacidad 0 o 1
cámaras de combustión de sólidos: número de opacidad 0 a 2*

Partículas finas

Las partículas finas son tan pequeñas que pueden ser respiradas, no se separan en la nariz o en la faringe del aire respirado. Debido a que las partículas finas pueden diferir en tamaño según su origen (desde pocos nm hasta varios µm), se clasifican en diferentes tamaños. Por regla general se toma como referencia el diámetro¹ aerodinámico, del que se deriva el

parámetro de medición mayoritario hoy en día PM10 (“Particulate Matter < 10 µm”).

En Europa existen valores límite PM10 de 50 µg/m³ al día o un valor medio al año de 40 µg/m³. En los EE. UU. y Japón se han establecido valores límite adicionales para la fracción aún más fina PM2.5.

Las partículas pueden tener los tamaños, origen y composición más diferentes.

Fuentes posibles de las partículas finas:

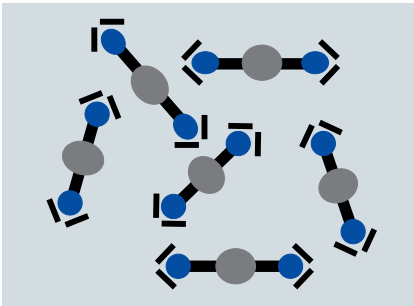
- Actividades técnicas (agricultura, tráfico, industria), pero también procesos naturales (p. ej. polvo del Sáhara).
- Por norma general se aplica: los procesos mecánicos generan normalmente partículas > 1 µm, mientras que las partículas especialmente alarmantes para la salud de < 1 µm proceden casi exclusivamente de procesos de combustión.
- Otra fuente de partículas finas son los procesos atmosféricos, en los que los componentes gaseosos se convierten en gotas o partículas de sal a causa de la condensación o por reacciones químicas, mayoritariamente bajo el efecto de la luz solar.

¹ El diámetro aerodinámico de una partícula está definido ahora como el diámetro geométrico de una partícula comparable rígida de forma esférica.

Diferencia Gas y partículas

Moléculas de gas

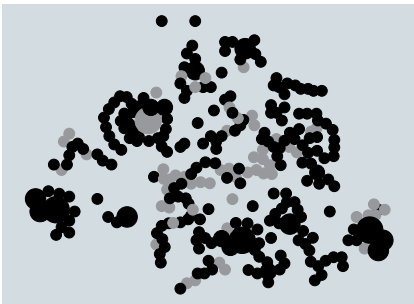
- Definidas química y físicamente de forma clara
 - Idénticas entre sí
 - Característica específica
- partículas determinadas



Partículas

- Propiedades geométricas muy diferentes
 - Composición de sustancias diferente
 - Propiedades físicas diferentes
- partículas indeterminadas

Los procesos de medición de partículas tienen por tanto siempre un carácter estadístico



y cierta borrosidad. La variedad de propiedades diferentes de las partículas resulta en la misma cantidad de diferentes métodos de medición (que determinan cada vez una propiedad diferente de las partículas).

Otro método de medición más es el análisis de la masa de partículas, en el que se pesan las partículas. Aquí se tienen en cuenta sin embargo solo las partículas pequeñas de forma condicionada.

Efectos de las partículas para la salud

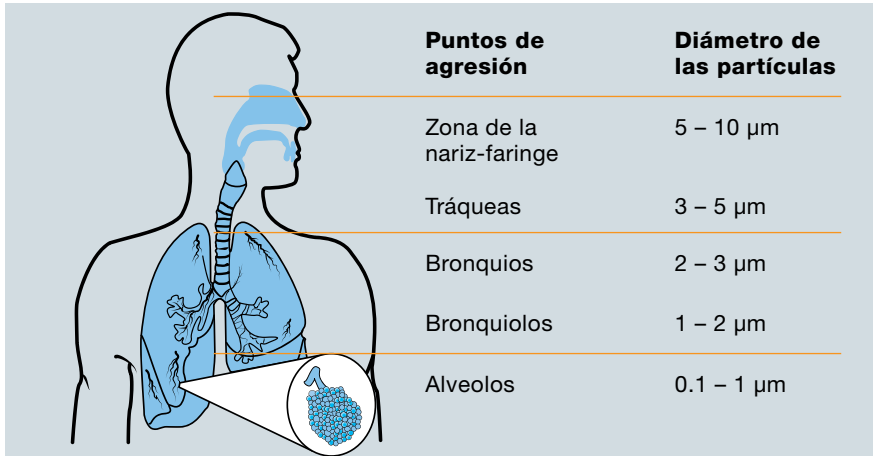
La relación entre la carga de partículas finas y una muerte prematura ya ha sido probada (en el espacio europeo unas 250.000 – 300.000 personas).

Las partículas de polvo penetran en el cuerpo humano casi exclusivamente a través de los pulmones.

Las vías respiratorias superiores e inferiores son un filtro eficiente para las partículas mayores (diámetro: ~ 5 µm). Sin embargo, cuanto menor sean las partículas, más penetrarán en el pulmón.

Algo especialmente problemático debido a:

- La falta de mecanismos protectores de los alveolos pulmonares.



- Una barrera de tejido a los vasos sanguíneos contiguos con un grosor de solo 100 nm, por lo que las partículas pueden penetrar directamente en la sangre y ser transportadas a cualquier órgano. *Valor típico (para la masa de partículas) en los productos de la combustión: 5 – 150 mg/m³*

Enfermedades por partículas:

Diferentes enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares que pueden causar la muerte. Especialmente perjudiciales para la salud son las partículas de procesos de combustión. Especialmente el hollín de diésel está clasificado como carcinógeno por la OMS (comunicado de prensa OMS del 12 de junio de 2012).

Aerosoles

Los aerosoles son las dispersiones (mezcla heterogénea de al menos dos sustancias) de partículas líquidas y/o sólidas (en un rango de tamaño entre 2 nm-100 μm) en un gas, generalmente aire. Gracias a esta variedad, las partículas pueden estar compuestas de las sustancias más diferentes y tener diferentes propiedades.

No existe un valor típico en los productos de la combustión de las cámaras de combustión de combustibles sólidos. Un aerosol es un sistema dinámico y está sometido a continuos cambios por la condensación de vapores en las partículas existentes, la evaporación de componentes líquidos de las partículas, la coagulación de partículas pequeñas en grandes o la separación en objetos del entorno.

2. Combustibles

2.1 Combustibles sólidos

Son la hulla, el lignito, la turba, la madera y la paja. El componente principal de estos combustibles son el carbono (C), el hidrógeno (H_2), el oxígeno (O_2) y una cantidad baja de azufre (S) y agua (H_2O). Los combustibles sólidos se diferencian básicamente por su poder calorífico. La hulla tiene el máximo poder calorífico, seguido del lignito, la turba y la madera. Un gran problema en la manipulación de estos combustibles es la formación de cenizas, partículas finas y hollín en grandes cantidades. Para ello deben instalarse dispositivos mecánicos adecuados en el lugar de combustión que transporten estas “sustancias desechables” (p. ej. rejillas).

Madera

La madera es un combustible natural, sólido y de llama alta. La madera blanda (pino, abeto y pino silvestre) contiene resina y tiende a formar hollín duro con riesgo de inflamación cuando se manipula incorrectamente la cámara de combustión. La madera dura como haya y roble es adecuada para cámaras de combustión con una cámara grande y para cámaras de combustión sin parrilla (estufas

de cerámica). La madera arde con una llama larga y brillante, para la combustión de las brasas no es necesario añadir oxígeno.

Temperatura de autoignición: aprox. 290 °C, cantidades de gases aprox. 8 m³/kg, poder calorífico H12-15 MJ/kg según el contenido de humedad, punto de rocío de los gases de combustión aprox. 40 – 45 °C, C 40 %, H_2 6 %, O_2 35 – 40 %, cenizas 1 – 2 %, H_2O 15 – 20 %, CO_{2max} 20.3 %, exceso de aire 10 – 200 % (según la fase de incineración).

Pellets y briquetas de madera (prensados de madera natural)

Combustible formado mecánicamente, de llama larga estable fabricado de deshechos de madera sin tratar y sin aglutinantes. La madera se tritura, se muele y se prensa a alta presión en formas cilíndricas. El contenido de H_2O es muy bajo (5 – 6 %), por eso el poder calorífico es superior al de la madera encerada. El poder calorífico depende considerablemente del contenido real de agua de los prensados. Los requisitos y las disposiciones para la revisión de estos combustibles están determinados en la legislación (p. ej. la norma ÖNORM M7135).

Briquetas de madera

Se emplea como leña para cámaras de combustión con o sin parrilla.

Pellets

Empleo en cámaras de combustión domésticas y en instalaciones de caldera con carga automática de combustible y entrada de aire regulada. Esto hace posible una combustión regulable homogénea con bajas emisiones.

Astillas de madera

Las astillas de madera se producen generalmente con trituradoras de disco, de tambor o de husillo (ya sean móviles o fijas) y son de madera al 100 %. Generalmente se emplean restos de madera de bosque, madera fina u otra de menor calidad (p. ej. la que se extrae de limpiar el bosque), que la industria ya no puede procesar para productos de alta calidad. El factor con mayor influencia en el poder calorífico es el contenido de agua. Este puede variar considerablemente dependiendo del tipo de árbol y del almacenamiento. Las astillas de madera fresca del bosque tienen un contenido de agua del 50-60 %, aunque el poder calorífico prácticamente se duplica al secar el material (p. ej. contenido de agua del 20 %).

Lignito

Combustible natural, sólido, de llama larga, que se ha formado por la compresión de los bosques caducifolios, de coníferas y los palmerales. La carbonización se produce con falta de aire por geotermia y presión lateral del suelo. Explotación hasta un 90 % en minas a cielo abierto. Diferenciamos entre lignitos (con estructuras vegetales reconocibles) y carbones bituminosos (negros, brillantes). Aptos para cámaras de combustión con una cámara alta, una parrilla grande y entrada de aire secundaria para una combustión posterior. Combustible con mucho hollín y cenizas. Temperatura de autoignición: aprox. 250 – 450 °C, cantidad de gases aprox. 7 m³/kg, poder calorífico H aprox. 12 – 20 MJ/kg, C 40 – 60 %, H₂ 3 – 5 %, N 0.5 %, O₂ 15 – 20 %, S 1.5 %, cenizas 5 – 20 %, H₂O 5 – 20 %, CO_{2max} 19 – 20 %, exceso de aire 60 – 100 %.

Hulla

Combustible natural, sólido, de llama larga. Se forma igual que el lignito. Considerablemente más antiguo que el lignito y, por lo tanto, con un contenido de carbono mayor. Explotación exclusiva en minas

Combustible

subterráneas. Tipos, listados según los componentes combustibles volátiles: carbones sub-bituminosos, carbones bituminosos, hulla grasa, hulla semiseca, hulla seca, antracita. Apto para estufas de cerámica con parrilla, hornos y calderas con fuego inferior. Produce mucho hollín en la fase de calentamiento, en la fase de combustión de las brasas poco humo. En la fase de calentamiento necesita una alimentación de aire de combustión suficiente.

Temperatura de autoignición: 320 – 600 °C, cantidad de gases aprox. 13 m³/kg, punto de rocío de los gases de combustión aprox. 30 – 35 °C, C 75 – 90 %, H₂ 4 – 6 %, O₂ 3 – 15 %, N 1 – 1.5 %, cenizas 3 – 12 %, H₂O 2 – 4 %, S 1 % poder calorífico H aprox. 27 – 32 MJ/kg, CO_{2max} 17 – 20 %, exceso de aire 60 – 100 %.

Briqueta

Combustible artificial, sólido, de llama larga o corta (carbón prensado). La carbonilla y el hollín de carbón se prensan en formas a alta presión o añadiendo aglutinantes.

Coque

Combustible artificial, sólido de llama corta. La hulla se calienta sin aire a unos 800 - 1000 °C. Sus partes volátiles se desprenden

(=gas ciudad). Es un combustible poroso que, dependiendo del tipo de uso y de la combustión, se rompe en diferentes tamaños de grano y permanece arriba. Apto para una incineración continua. Arde con una llama azulácea corta, produce poco humo y hollín. Temperatura de los gases de combustión muy baja, punto de rocío bajo y fase de brasas larga. Temperatura de autoignición aprox. 450 – 600 °C, cantidad de gases aprox. 12 m³/kg, punto de rocío de los gases de combustión aprox. 13 – 15 °C, C 85 %, H₂ 1 %, O₂ 2 – 4 %, N 1 %, S 1 %, cenizas 7 – 9 %, H₂O 5 %, poder calorífico H aprox. 29 MJ/kg, CO_{2max} 20.6 %, exceso de aire como en el lignito.

Antracita

Combustible natural, sólido de llama corta. Más antiguo y, por tanto, de más valor que la hulla. Se comercializa generalmente con forma de briquet (briquet de huevo). Contenido máximo de C y mínimo de H₂.

Carbón vegetal

Combustible artificial, sólido de llama corta. La madera se calienta sin aire (carbonera). Al hacerlo se desprenden los componentes de combustible como gas de madera, vapor de alquitrán vegetal y agua. Se

usa en la industria y como carbón para barbaças. Arde sin humo.

2.2 Combustibles líquidos

Se originan del petróleo. Mediante un tratamiento en refinerías se producen gasóleos para calefacción extraligeros (EL), ligeros (L), medios (M) y pesados (P). Para las combustiones en caldera se emplean principalmente los gasóleos EL y P. El gasóleo EL está muy extendido en el sector de cámaras de combustión pequeñas y es idéntico al combustible diésel (tintado). Para emplear el gasóleo P es necesario un precalentamiento para mantener la fluidez. Esta medida no es necesaria para el gasóleo EL.

Gasóleos para calefacción

Combustibles artificiales, líquidos, de llama larga. Se obtienen destilando (calentando sin aire) crudo (petróleo) en refinerías. El crudo se produce de forma similar a la hulla, solo que aquí las sustancias a partir de las que se forma son materias animales (plancton y pequeños seres vivos). Se encuentra en capas de minerales porosas cerradas. La extracción se realiza por la presión propia o mediante bombas de alta presión. Tipos de aceite: gasóleo extraligero (GEL) para quemadores de vaporización y quemadores de pulverización,

gasóleo ligero (GL), gasóleo medio (GM) y gasóleo pesado (GP) solo para el quemadores de vaporización con precalentamiento de aceite. Los requisitos de estos gasóleos están establecidos en la legislación (p. ej. ÖNORM C 1108 y C 1109). Cantidad de gases aprox. 12 m³/kg, punto de rocío de los gases de combustión aprox. 45 – 50 °C, temperatura de autoignición aprox. 300 – 400 °C, punto de inflamación aprox. 55 – 100 °C, exceso de aire con quemador de evaporización 30 – 40 %, - con quemador de soplador de llama amarilla 15 – 30 %, - con quemador de soplador de llama azul 10 – 20 %, gasóleo para calefacción GEL H = 42.8 MJ/kg, S = 0.1 %, C = 86 %, H₂ = 13.7 %, CO_{2max} 15.4 %, gasóleo para calefacción GL H = 41.8 MJ/kg S = 0.2 %, C = 87.3 %, H₂ = 12.1 %, CO_{2max} 15.8 %, gasóleo para calefacción GS H = 40 MJ/kg, S = 1 % C = 86.5 %, H₂ = 10.7 %, CO_{2max} 16.4 %.

Propiedades de los gasóleos para calefacción

La densidad de estos gasóleos varía a 15 °C, en los GEL está entre 0.83 - 0.86 kg/l, en los GS entre 0.90 - 0.98 kg/l. Al comparar precios y poderes caloríficos debe tenerse en cuenta si se indica el

precio en litros o en kilos, ¡ya que son posibles diferencias de hasta 20 %! La viscosidad, el grado de viscosidad del aceite, se reduce al calentar e incrementa al enfriar, y hace referencia siempre a una temperatura determinada. Los aceites con residuos (GL, GM y GS) deberán precalentarse antes de la pulverización para que la viscosidad sea lo más baja posible. El grado de carbonización está expresado por el valor Conradson e indica cuántos residuos han quedado en forma de coque al quemar el aceite (carbonización de las toberas del quemador y arandelas de polvo, así como de la tobera de entrada en el quemador de fuente en los hornos de aceite). El punto de inflamación es la temperatura a la que se forma una mezcla de gas y aire, que arde al encenderla desde fuera.

El punto de inflamación se divide en tres categorías de peligro:
Categoría I: punto de inflamación por debajo de 21 °C, p. ej. la gasolina
Categoría II: punto de inflamación 21 °C-55 °C p. ej. el petróleo
Categoría III: punto de inflamación 55 °C-100 °C GEL, GL, GM (GS punto de inflamación por encima de 100 °C).

El punto de ignición es la temperatura a la que la mezcla de gas y aire sigue

ardiendo de forma autónoma. Si no se alcanza este punto durante la combustión, se produce un quemado incompleto (formación de hollín). El punto de fluidez es la temperatura del aceite en la que este sigue siendo un líquido vertible. El punto de congelación es la temperatura a la que se produce un desparafinado del aceite y el aceite ya no fluye.

2.3 Combustibles gaseosos

Son una mezcla de gases combustibles y no combustibles. Los componentes combustibles del gas son hidrocarburos (p. ej. metano, butano), monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂). Para fines de calefacción se emplea hoy en día principalmente gas natural, cuyo componente principal es el metano (CH₄). Una proporción baja de hogares (10 %) es abastecida todavía con gas ciudad, cuyos componentes principales son el hidrógeno (H₂), el monóxido de carbono (CO) y el metano (CH₄). El poder calorífico del gas ciudad es solo la mitad de elevado que el del gas natural.

Gas natural (metano)

Combustible gaseoso, de llama larga o corta, según su longitud. Es inodoro por naturaleza. La composición es muy diferente según el área de

bombeo. Los componentes principales son CH_4 (metano) al 80 – 95 % así como N_2 , uniones de azufre y agua. Antes del uso es necesario un tratamiento. Al gas natural se le añade una materia olorosa (para la detección del olor). El metano, al contrario que el gas ciudad, no es tóxico porque no contiene CO. ¡El gas natural es altamente explosivo! Los campos de gas naturales se han formado generalmente, al igual que el petróleo y los carbones, de organismos monocelulares que sedimentaron y fueron convertidos a altas temperaturas y presiones. El gas natural se bombea desde los yacimientos hasta los puntos de consumo a través de gaseoductos, aunque también puede transportarse a $-162\text{ }^\circ\text{C}$ (111 K) en estado licuado y sin presión en camiones cisterna. En los yacimientos de gas vacío se pueden almacenar. El gas natural se quema en quemadores para el tratamiento de superficies (varias toberas de quemado), en quemadores de soplador (una llama) y en quemadores matriz (quemadores de premezcla). Temperatura de autoignición aprox. $630\text{ }^\circ\text{C}$, temperatura de llama máx. aprox. $1900\text{ }^\circ\text{C}$, cantidad de gases aprox. 10 m^3 , cantidad de vapor de agua aprox. 2 m^3 .

Composición: Metano 93.1 %, etano 3.7 %, N 2.2 %, CO_2 0.9 %, $\text{CO}_{2\text{max}}$ 11.7 %, consumo de aire aprox. 9.5 m^3 , densidad: 0.777 kg/m^3 , poder calorífico H 36.4 MJ/m^3 (10.1 kWh), valor calorífico 40.3 MJ/m^3 (11.2 kWh), poder calorífico de servicio HB 34.3 MJ/m^3 (9.5 kWh), exceso de aire: Quemador sin soplador 200 – 300 % (después de asegurar el flujo), quemador de soplador 10 – 30 %, quemador de premezcla 10 – 40 %.

Gases licuados

Son productos derivados en la industria del petróleo y de carburantes. Los más importantes son propano y butano. Se almacenan en estado líquido bajo presión en bombonas. Bajo presión normal son gaseosos y más pesados que el aire. 1 kg de propano (C_3H_8) = 1.87 l da aprox. $0.5\text{ m}^3/\text{N}$ de gas, 1 m^3 propano tiene un poder calorífico H de 93.8 MJ, consumo de aire aprox. 23 m^3 , punto de rocío de los gases de combustión aprox. $45\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$, cantidad de gases aprox. 26 m^3 , cantidad de vapor de agua aprox. 4 m^3 , $\text{CO}_{2\text{max}}$ 13.9 %, exceso de aire 20-40 %, 1 kg butano (C_4H_{10}) = 1.67 l da aprox. $0.37\text{ m}^3/\text{N}$ de gas, 1 m^3 . El butano tiene un poder calorífico de 123.6 MJ, consumo de aire aprox. 31 m^3 , cantidad de gases aprox. 33 m^3 , H_2OD aprox. 5 m^3 .

3. Cámaras de combustión

3.1 Principio de funcionamiento de una cámara de combustión

La cámara de combustión, en combinación con un intercambiador de calor, sirve para generar calor. Esto es, los productos de la combustión calientes generados por la llama de un quemador calientan el agua mediante un serpentín de calefacción, agua que se lleva como “transportadora del calor” (caloportador) por tuberías hasta los diferentes consumidores (p. ej. un radiador).

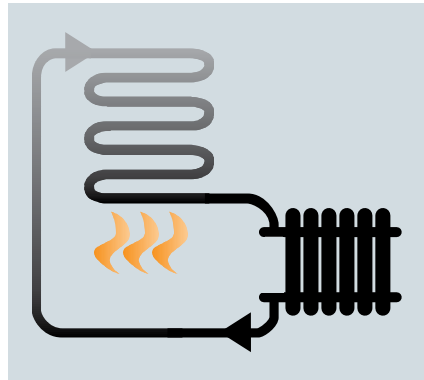


Fig. 3: Esquema Quemador y caldera

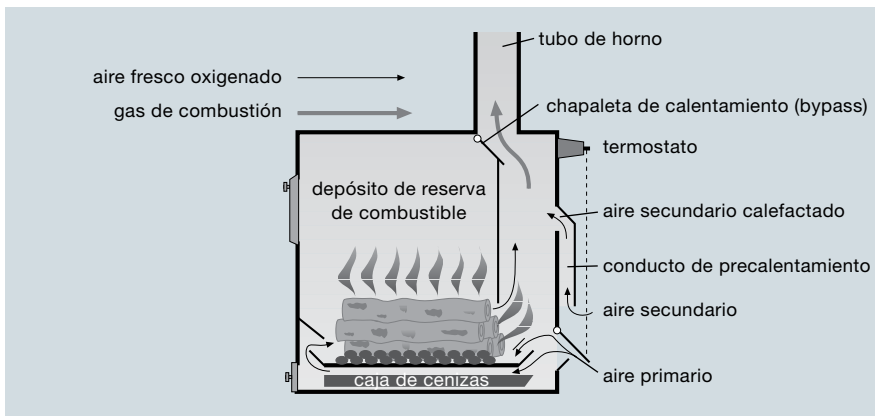


Fig. 4: Combustión sencilla con parrilla

3.2 El estado actual en la fabricación de calderas

Se fabrican como calderas especiales y acordes a un combustible determinado; con temperaturas del aire de combustión muy bajas y, en parte, condensación de los gases de combustión en el calentador o en un intercambiador de calor postconectado (calderas de condensación). El uso de aparatos regulados por modulación se adapta exactamente a las necesidades térmicas, modifica el uso del combustible y, con ello, el rendimiento continuo obtenido del calefactor.

Reduciendo la temperatura del agua de la caldera pueden reducirse tanto la pérdida de calor (productos de la combustión calientes) como la pérdida de radiación de la caldera.

Empleando calderas con temperatura continua del agua de la caldera puede incrementarse el grado de aprovechamiento anual. La reducción de la temperatura del agua requiere sin embargo radiadores mayores (p. ej. calefacción de suelo).

En las calderas convencionales la temperatura del agua de la caldera (temperatura de entrada) es de aprox. 70 - 90 °C y la temperatura de los gases de combustión con:

- Calderas de combustibles sólidos aprox. por encima de 160 – 300 °C

- Calderas de aceite aprox. por encima de 160 – 260 °C
- Calderas de gas aprox. sobre 100 – 260 °C

En estas calderas no se produce condensación de los gases de combustión durante el servicio.

Las **calderas de temperatura baja**, debido a su estructura y tipo de material, son adecuadas para ser operadas con temperaturas del caloportador de unos 40 – 50 °C, sin que haya riesgo de corrosión.

Las temperaturas de los gases de combustión son más bajas correspondientemente con la temperatura de superficies más baja de los intercambiadores de calor, lo que resulta en un rendimiento mayor.

Las **calderas de temperaturas muy bajas** pueden operarse sin riesgo de corrosión hasta una temperatura del agua de la caldera de unos 20 – 40 °C. Una “caldera de temperatura muy baja” puede arrancarse “en frío” y calentarse. La pérdida de calor preparado se reduce al mínimo.

La temperatura de los gases de combustión va en paralelo con la temperatura del agua de la caldera y con la temperatura de entrada. Son posibles temperaturas de gases de combustión hasta por debajo de los 80 °C, que resultan en un alto rendimiento con pérdidas de radiación

bajas, aunque es necesaria una campana de chimenea insensible a la temperatura.

Caldera de condensación

En este tipo de caldera se utiliza adicionalmente mediante un segundo intercambiador de calor el calor de vaporización del vapor de agua contenido en el gas de combustión. El gas de combustión debe enfriarse dentro de la cámara de combustión lo máximo posible, por debajo del punto de rocío del combustible. Cuanto más baja sea la temperatura del aire de combustión (dependiente de la temperatura del agua de la caldera en el retorno), mayor será la obtención de calor por condensación. La temperatura de los gases de combustión puede reducirse hasta

40 °C. Son necesarios un ventilador de gases, por la presión negativa de la campana, y una campana de chimenea insensible a la humedad, por no llegar al punto de rocío. El valor calorífico (poder calorífico superior) indica en contraposición al poder calorífico la energía relacionada con la cantidad de combustible que se libera durante una combustión completa. En el poder calorífico (poder calorífico inferior) se extrae, por el contrario, el calor de la evaporación del vapor de agua que se forma durante la combustión, por eso el poder calorífico es siempre menor que el valor calorífico. Este calor de condensación se aprovecha en calderas de condensación adicionalmente al calor de combustión mediante un enfriamiento de retorno en un

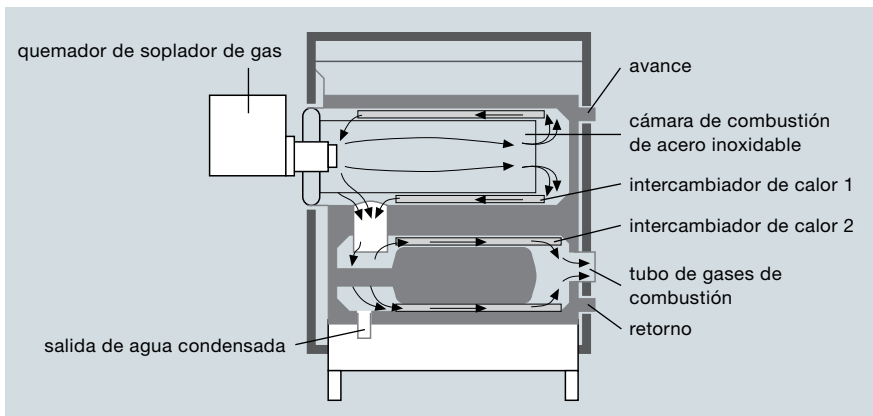


Fig. 5: Estructura de una caldera de condensación para gas

segundo intercambiador de calor.

Los aparatos de condensación no alcanzarán por tanto las temperaturas de los gases de combustión de las calderas convencionales. El vapor de agua contenido en los productos de la combustión se condensa y se libera calor adicional (calor latente). La temperatura, a la que aparece el agua condensada contenida en la humedad de los productos de la combustión, se denomina temperatura de condensación o punto de rocío. Esta varía según el combustible y es de unos +58 °C en el gas natural y unos +48 °C en el gasóleo para calefacción. Al enfriar los productos de la combustión se alcanza antes la temperatura de condensación en el gas natural. Esto significa que el calor de vaporización se obtiene antes. El beneficio de energía es por tanto mayor con el gas que con el aceite. Debido a que el dióxido de azufre (SO₂) que aparece durante la combustión de aceite se transforma en parte en ácido sulfuroso en el agua condensada, en la técnica de valores caloríficos se emplea principalmente gas. Debido a la proporción de agua condensada, los trayectos de los productos de la combustión deberán ser sensibles a la humedad y

resistentes a ácidos.

- Es posible un rendimiento del 100 % ya que la energía aportada hace referencia al poder calorífico inferior (PCI).
- Precaución en las mediciones de NO_x: La proporción de NO a NO₂ puede ser de hasta 50:50. Esto es, para la medición de NO_x deben medirse por separado las concentraciones de NO y de NO₂.

3.3 Clasificación de cámaras de combustión por combustibles

3.3.1 Calderas para combustibles sólidos

En las instalaciones de calefacción para combustibles sólidos se diferencia entre las combustiones de madera y las calderas en las que se quema carbón, coque o briquetas. En las calderas de sólidos es necesario el 80 % del aire de combustión para el proceso de combustión en sí. El 20 % del aire de combustión (aire secundario) se añaden los productos de la combustión formados durante la combustión. Con ello se garantiza una calcinación completa. Para que este aire secundario no enfríe los productos de la combustión (combustión

incompleta) deberá realizarse un precalentamiento.

3.3.2 Cámaras de combustión de gas

Son cámaras de combustión para la combustión de combustibles gaseosos como gas natural, gas licuado y biogás. Se diferencia entre las cámaras de combustión de gas con **quemadores atmosféricos** y seguro antirretorno y las cámaras con **quemadores de soplador** sin seguro antirretorno. Los **quemadores de premezcla** son quemadores atmosféricos con soporte para soplador sin seguro antirretorno, en los que el aire de combustión se dosifica exactamente, por lo que el contenido de CO₂ es muy elevado. La ventaja principal en las instalaciones de gas es la combustión sin residuos y el ahorro de espacio para las reservas de combustible. Especialmente en los quemadores de gas atmosféricos, el aire de combustión se aspira gracias a la ascensión de los productos de la combustión y llega a la cámara de combustión mezclado con gas. La mezcla de combustible/aire quemada irradia allí sin ruidos su calor a las superficies de calefacción y el gas de combustión extraído llega a la chimenea a través de un seguro de

flujo. El seguro de flujo tiene la función de evitar que un tiro muy fuerte en la chimenea o una obstrucción en el trayecto del gas afecten a la combustión en la cámara.

Quemadores de soplador

El aire de combustión se añade al gas mediante un soplador antes de la combustión. Esto posibilita una dosificación exacta del aire de combustión y una buena mezcla con el gas. Rendimiento elevado gracias a un exceso de aire bajo (10 - 20 %). Los quemadores de soplador destacan por una seguridad operativa muy elevada y una gran insensibilidad a las influencias atmosféricas. La sobrepresión existente en la caldera se reduce mediante resistencias. Al final de la caldera la presión negativa natural de la campana de la chimenea se encarga de transportar los productos de la combustión al aire libre. La estructura de los quemadores de aceite es muy similar a la de un quemador de aceite, del que se han tomado muchos componentes. Las pérdidas en inactividad se evitan, al igual que en los quemadores de soplador de aceite, mediante válvulas de aire automáticas que evitan un flujo posterior del aire por la caldera durante la inactividad del quemador.

Las variaciones o una presión negativa muy fuerte pueden reducirse montando y ajustando limitadores de tiro. Al mismo tiempo se previene así una posible humidificación de la campana de la chimenea.

Quemadores atmosféricos

Estos quemadores se derivan de los quemadores por inyección y se montan principalmente como parrillas o quemadores para el tratamiento de superficies. Estos quemadores trabajan con autosucción de aire. Las parrillas se componen de tubos quemadores individuales o varillas con un inyector y un tubo de mezcla cada una. El aire principal (aprox. el 60 %) se succiona en el tubo de inyección por la presión negativa del gas que fluye. La mezcla de

gas y aire fluye por las toberas del quemador, se vuelve a mezclar al salir con el aire secundario (aprox. 40 %) y se enciende. Se forma una llama azulácea larga. El gas de combustión se presiona por la ascensión térmica a través del intercambiador de calor. Detrás del intercambiador, la presión negativa natural de la campana de la chimenea se encarga de extraer los productos de la combustión. La alimentación del aire de combustión y, con ello, un exceso de aire determinado, no puede ajustarse ni regularse exactamente como en el quemador de soplador. Debido a que las anomalías en el transporte de los productos de la combustión no deben afectar la combustión, las cámaras de combustión atmosféricas deberán estar equipadas con un

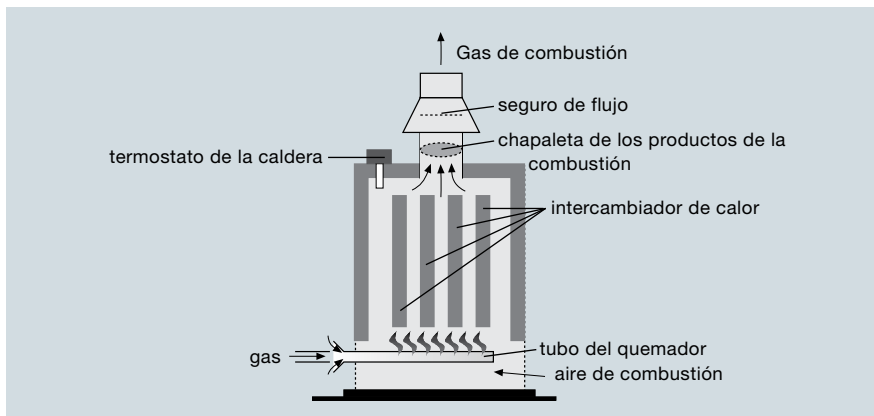


Fig. 6: Caldera con quemador atmosférico

seguro antirretorno. Por este seguro abierto llega, en función de la fuerza de presión negativa, más o menos “aire malo” de regulación al flujo de los productos de la combustión, de tal forma que en la cámara se dan condiciones de combustión (entrada de aire) lo más homogéneas posibles. La parte de aire malo o aire secundario puede influir mucho en los resultados de medición. (Medición de CO_2 u O_2 antes o después del seguro antirretorno). Si hay obstrucciones o reflujo, los productos de la combustión se presionan por los orificios de flujo de retorno en el lugar de emplazamiento. Un vigilante de los productos de la combustión (dispositivo de seguridad) desconecta la entrada de gas mediante una válvula magnética tras un tiempo de seguridad de aprox. 1-2 minutos. Para reducir la parte de NO_x en los productos de la combustión (es posible una reducción de hasta el 30 %) se equipan los quemadores atmosféricos con varillas de enfriamiento o rejillas refrigeradas por agua.

Quemadores de premezcla

Debido al incremento de los requisitos legales (rendimiento, valores de NO_x y CO) se han desarrollado nuevas técnicas de combustión. Los quemadores de

premezcla destacan por rendimientos elevados (hasta el 92 %) y poca contaminación. Los quemadores de premezcla pertenecen al grupo de los quemadores atmosféricos. El aire de combustión puede añadirse a través de un tubo de succión en el lugar de emplazamiento en función del aire del entorno, o desde el aire libre, independientemente del aire del entorno. Un ventilador aspira aire de combustión a través de boquillas de entrada en la camisa interior hermética a gases o en los elementos térmicos. Encima del ventilador se regula la cantidad de aire necesaria para la cantidad de gas (rendimiento de la caldera) mediante un regular de presión diferencial. Por lo que se pueden ajustar cantidades de exceso de aire muy bajas. Ventaja: pérdida de calor de la combustión muy baja, por tanto un mayor rendimiento. La mezcla de gas y aire se presiona, enciende y quema con llama corta o una película de llama a través de un quemador cerámico para el tratamiento de superficies o de un quemador matriz. Los productos de la combustión llegan con sobrepresión (200 Pa) después del enfriado al sistema hermético de los productos de la combustión y, a continuación, a través del sistema de campana de la chimenea al aire libre.

3.3.3 Quemadores de aceite

Los quemadores de aceite en la caldera de la calefacción tienen la tarea de pulverizar al máximo posible o de evaporar el gasóleo para calefacción. Se diferencian las siguientes estructuras de quemador:

Quemadores de evaporización para GEL

Quemadores de pulverización para GEL, GL, GM y GS

Quemadores de evaporización

El componente principal de todos los quemadores de evaporización es una fuente o un cazo. En este recipiente se evapora el aceite añadiendo calor. El aire fluye por el orificio en los lados del quemador de evaporización y produce la mezcla necesaria para la estabilización de la llama en la cámara del quemador. La alimentación de aceite y, por tanto, la potencia calorífica se modifica mediante una válvula de ajuste en el regulador de aceite. En el regulador de aceite hay un flotador que mantiene el nivel de aceite a una altura constante, para que se produzca un flujo homogéneo independiente de la presión previa. Si se apagara la llama, el flotador evita un rebose del aceite por encima de la marca de seguridad. La marcha de inercia del aceite se realiza desde el depósito en el horno de aceite (aprox.

20 litros) o desde un depósito externo (hasta 300 litros). El encendido del aceite se realiza a mano mediante una mecha de parafina o mediante un encendedor de alcohol de quemar; en el servicio automático mediante un cable radiante. Es posible un servicio completamente automático mediante regulación por termostato. Todos los quemadores de evaporización son muy sensibles al tiro de aire. Fuerza de tiro necesaria mín. 10-15 Pa. Las variaciones en el tiro o un tiro muy fuerte pueden regularse y ajustarse con un limitador de tiro. Los quemadores de evaporización con soplador son en gran parte independientes de las influencias atmosféricas. La velocidad del ventilador puede regularse, por eso se pueden controlar conjuntamente la cantidad de aire y el flujo de aceite. ¡Los quemadores de evaporización destacan por un elevado rendimiento! Potencia calorífica sin ventilador unos 3 a 15 kW, con ventilador hasta 50 kW, número de opacidad máx. 2, rendimiento 70 – 80 %, contenido de CO₂ de los productos de la combustión 8 – 10 %.

Es necesaria una limpieza regular de las superficies calientes. Los hornos de aceite se cubren de hollín ligeramente cuando la presión negativa

es demasiado baja o alta, o cuando los orificios de aire están obstruidos. Si la presión negativa es baja, pueden producirse deflagraciones.

Quemadores de pulverización

En estos quemadores, el aceite se presuriza mediante una bomba de aceite eléctrica (7 - 20 bar) y después se lleva a una tobera de aceite en la que se pulveriza en partículas extrafinas. Un ventilador succiona aire de la habitación y lo transporta por el tubo del quemador hasta la tobera de aceite, donde se mezcla con el aceite pulverizado con ayuda de dispositivos de mezclado adecuados (disco deflector, criba deflectora, arandelas de disco, discos de rotación, entre otros). El ajuste de la cantidad de aire se realiza mediante correderas o chapaletas en el lado de la aspiración o la presión. Las válvulas de cierre de aire evitan pérdidas de enfriamiento durante la inactividad del quemador. Una chispa de alta tensión (electrodos de encendido) inflama la mezcla que continua ardiendo por sí misma mientras haya aceite y aire. El calor de la llama evapora aún más el aceite pulverizado. Los quemadores de un nivel funcionan siempre en el modo encendido/apagado, esto es, funcionan siempre con la potencia nominal total del quemador. Para una

mejor regulación y una mejora del rendimiento en los quemadores por encima de unos 100 kW se emplean quemadores de dos niveles o dos toberas. La válvula de aire se controla mediante un accionamiento hidráulico en dos posiciones diferentes. El golpe de arranque es considerablemente menor con el quemador de dos niveles. Por motivos de ahorro de energía, hoy en día se emplean quemadores de dos niveles incluso ya a potencias menores. Con ello se consigue operar el quemador con una potencia reducida durante la temporada principal del año. Con potencias grandes se emplean quemadores regulables (modulares) con toberas de retorno. La cantidad de aire se regula en función de la cantidad de aceite añadida. En los quemadores de aceite con control por sonda lambda se mide el contenido de O_2 de los productos de la combustión en función de un análisis de gases continuo mediante una sonda de medición de óxido de circonio y se mantiene a 1 - 1.5 %. Con ello se obtiene un rendimiento mayor y menores emisiones contaminantes. Dependiendo de la viscosidad del aceite, será necesario un precalentamiento a unos 70 - 120 °C para alcanzar la viscosidad correspondiente para la pulverización.

Al calentar se reduce la viscosidad del aceite. Para una combustión mejor y con menos emisiones, se emplean quemadores con precalentamiento de aceite, también para GEL.

Quemadores rotatorios

En estos quemadores el gasóleo para calefacción fluye por un árbol hueco que rota rápidamente hasta un cilindro abierto por el lado de la caldera. El aceite se distribuye uniformemente en el interior del cilindro por el efecto de la fuerza centrífuga, se centrifuga desde el borde del cilindro a gran velocidad pulverizándose. Otros tipos de quemador son el quemador de emulsión, el pulverizador de aire comprimido y el pulverizador de vapor.

Dispositivos de seguridad y regulación en quemadores pulverizadores de aceite

Debido a que la mayor ventaja de la calefacción de aceite es el servicio automático, el sistema automático deberá tener una estructura con especial cuidado al detalle, segura y sin anomalías. Las instalaciones pequeñas funcionan por el principio de encendido/apagado. Las instalaciones medianas pueden regularse en niveles: desconectada-carga parcial-carga completa. Las instalaciones grandes están reguladas de forma continua.

Componentes de una instalación de cámara de combustión de aceite

En una instalación de cámara de combustión de aceite tiene las siguientes partes:

El *transformador de encendido* genera chispas de alta tensión al encender el quemador entre dos electrodos (unos 10.000 voltios), que inflaman la mezcla de aceite y aire.

El *vigilante de llama* tiene la tarea de supervisar la existencia o inexistencia de la llama e indicarlo.

El *termostato de la caldera (regulador de temperatura)* está instalado en la caldera, reacciona a la temperatura del agua y apaga o enciende el quemador cuando hay una desviación del valor nominal.

El *vigilante de la temperatura* apaga el quemador de aceite si se sobrepasa la temperatura máxima permitida.

El *mecanismo de combustión de aceite (unidad de control)* coordina la secuencia correcta de todas las conexiones.

Funcionamiento de un mecanismo de combustión de aceite

Arranque:

- Encendido del motor con ventilador y bomba de aceite
- El transformador de encendido mantiene la tensión

- Transcurridos unos segundos de preencendido se abre la válvula magnética
- Se enciende el aceite pulverizado
- La llama arde
- El vigilante de la llama se activa y desconecta el transformador de encendido

Servicio:

El quemador de aceite permanece en servicio mientras se necesite calor.

Desconexión por anomalía:

Si al concluir el tiempo de seguridad no se produce un encendido o la llama se apaga durante el servicio, se desconecta y bloquea el quemador (cabezal de desbloqueo).

3.3.4 Otros tipos de quemadores

Calderas con quemadores de soplador de aceite o gas

En estas calderas se añade aire de combustión a la llama del quemador con un ventilador. Debido a que la estructura de las calderas de aceite y de gas hoy en día apenas tiene diferencias, se puede combinar por ejemplo una caldera de gas con un quemador de soplador de aceite. Las ventajas de estos quemadores son la independencia del tiro de la chimenea,

la pequeña sección de la chimenea, una combustión estable y un gran rendimiento. Como desventaja se debe anotar sin embargo un mayor consumo de energía del quemador.

Caldera de sobrepresión

En esta estructura de caldera para quemadores de soplador de aceite y de gas, el quemador de soplador crea una sobrepresión para hacer frente a las resistencias internas en la caldera. Esta sobrepresión se vuelve a eliminar en el fondo de la caldera montando turbuladores, trabas y contracorrientes. Por este motivo, los orificios de limpieza y las conexiones del quemador deben poder cerrarse de forma resistente a la sobrepresión.

Quemador de dos combustibles

Estos quemadores de gas/aceite han sido construidos para la combustión alternativa de aceite y gas. Estos quemadores se emplean cuando es necesario un suministro de calor seguro (p. ej. en hospitales y centrales energéticas). La estructura de estos quemadores es básicamente como la de los quemadores de aceite. En el centro del cabezal del quemador hay una tobera de aceite, alrededor la distribución de gas mediante lanzas de quemador individuales.



4. Disposiciones legales para mediciones en instalaciones de calefacción

En España disponemos en la actualidad de dos reales decretos que regulan las instalaciones y mantenimientos de sistemas de combustión domésticos. De un lado tenemos el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos (RD 919/2006), que aplica a aquellas instalaciones receptoras de gas suministradas a una presión máxima de operación inferior o igual a 5bar; por otro lado tenemos el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RD 1027/2007), que aplica al resto de sistemas de combustión no incluidos en el RD 919/2006.

4.1 Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos (RD 919/2006)

El REAL DECRETO 919/2006, Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11, se refiere a las normativas españolas UNE 60670 para establecer los criterios técnicos, los requisitos esenciales de seguridad y las garantías de buen servicio, que se deben utilizar al diseñar, construir, ampliar, modificar, probar, poner en servicio y controlar periódicamente las instalaciones receptoras de gas suministradas a una presión máxima de operación (MOP)

inferior o igual a 5 bar, así como las condiciones de ubicación, instalación, conexión y puesta en marcha de los aparatos de gas.

En la siguiente tabla 1, extraída de la normativa UNE 60670 parte 10 de Julio 2014, se muestran las diferentes comprobaciones a realizar en la verificación del mantenimiento de las condiciones de seguridad de los aparatos en su instalación

Aparatos de gas (tipos según la norma UNE-CEN/TR 1749 IN)								
Comprobaciones a realizar	Aparatos tipo A					Aparatos tipo B		Apar. tipo C
	Cocinas, encimeras y hornos ⁽¹⁾	Vitro-cerámicas de fuegos cubiertos	Generadores de aire caliente según la norma UNE-EN 525	Aparatos suspendidos de calefacción por radiación	Otros	Tiro natural	Tiro forzado	
Montaje correcto del aparato	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Estanqueidad de la conexión del aparato	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Análisis de los productos de la combustión	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí
Medición del CO ambiente	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí ⁽²⁾	Sí ⁽²⁾	Sí ⁽²⁾
Tiro del conducto de evacuación	-	-	-	-	-	Sí ⁽²⁾	No	No

(1) Se incluyen tanto hornos independientes como hornos solidarios a cocinas

(2) Únicamente cuando el aparato esté ubicado en un local no considerado zona exterior (véase 4.1.2 de la norma UNE 60670-62014)

Fig. 7: Tabla de comprobaciones mínimas para la puesta en marcha de los aparatos de gas

4.2 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RD1027/2007)

La Instrucción Técnica 3.4.1, evaluación periódica del rendimiento de los equipos generadores de calor del REAL DECRETO 1027/2007 y su respectiva modificación REAL DECRETO 238/2013, indica que la empresa mantenedora realizará un análisis y evaluación periódica del rendimiento de los equipos generadores de calor en función de su

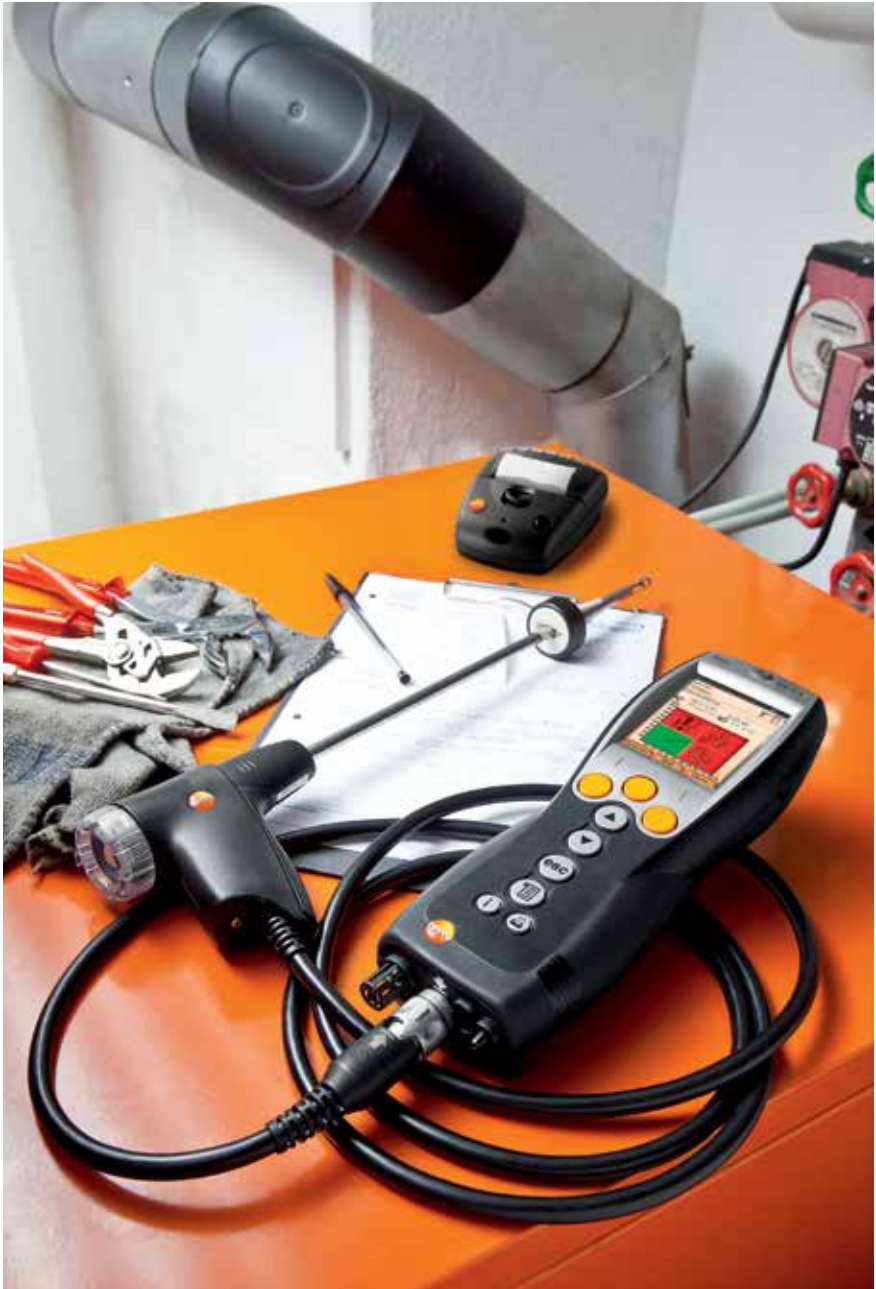
potencia térmica nominal instalada, midiendo y registrando los valores, de acuerdo con las operaciones y periodicidades indicadas en la tabla 3.2, en las sucesivas inspecciones periódicas de la eficiencia energética, el rendimiento a potencia útil nominal tendrá un valor no inferior al 80%.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios

Medidas de generadores de calor	Periodicidad		
	20 kW < P ≤ 70 kW	70 kW < P < 1000 kW	P > 1000 kW
Temperatura o presión del fluido portador en entrada y salida del generador de calor	2a	3m	m
Temperatura ambiente del local o de la sala de máquinas	2a	3m	m
Temperatura de los gases de combustión	2a	3m	m
Contenido de CO y CO2 en los productos de la combustión	2a	3m	m
Índice de opacidad de los humos en combustibles sólidos o líquidos y de contenido de partículas sólidas en combustibles sólidos	2a	3m	m
Tiro en la caja de humos de la caldera	2a	3m	m

m: 1 vez al mes / 3m: cada tres meses, la primera al inicio de la temporada / 2a: cada dos años

Fig. 7 bis: medidas de generadores de calor y su periodicidad



5. Tareas de medición en la instalación de calefacción

Para garantizar un funcionamiento óptimo de la instalación, durante la puesta en servicio, así como regularmente, deberán realizarse diferentes pruebas de funcionamiento, actividades de ajuste y medición en instalaciones de combustión de gas, instalaciones de combustibles sólidos y de aceite.

A continuación se explican más detalladamente.

5.1 Prueba de funcionamiento y ajustes en las cámaras de combustión por gas

Los pasos de trabajo y las indicaciones descritos aquí muestran ejemplos de cómo deben ser la prueba de funcionamiento y el ajuste durante la puesta en marcha de los aparatos receptores de gas suministrados con una presión máxima de operación inferior o igual a 5 bar.

1 Comprobación de la presión en la toma de gas

Antes de la puesta en marcha del aparato deberán comprobarse

la presión en la toma de gas como presión de flujo. Esta deberá estar dentro del rango de presión permitido conforme a los datos del fabricante (ver tabla fig. 9 bis - extracto de la normativa UNE 60670 parte 4 en la que se indican las presiones de gas mínimas que deben llegar en la llave del aparato). De lo contrario, no podrá ponerse en marcha la caldera de gas y deberá informarse a la empresa de abastecimiento de gas para eliminar la



Fig. 8: Para los trabajos de ajuste es imprescindible un analizador de combustión, p. ej. el testo 330 LL

causa.

Para la medición de la presión en la toma de gas se conecta un manómetro en las boquillas de medición correspondientes de las válvulas de la caldera de gas con la llave de gas cerrada. Con llave de gas abierta se lleva el quemador a la potencia máxima mediante el menú de mando correspondiente y se mide la presión en la toma de gas como presión de flujo.

Con la presión de conexión correcta se vuelve a cerrar la boquilla de medición y se continúa con la puesta en marcha.



Fig. 9: Lectura de la presión en la toma de gas y en la tobera en la testo 510

Familia y grupo del gas	Denominación del gas	Presión mínima del gas en la llave del aparato (mbar)
2H	Gas natural *	17
3B	Gas butano	20
3P (50)	Gas propano	42,5
3P (37)	Gas propano	25

* Los aparatos de esta categoría regulados para gases 2H pueden utilizar aire propanado de alto poder calorífico a la misma presión de utilización si el índice de Wobbe superior está comprendido entre 46,0 MJ/m³ (s) y 51,5 MJ/m³ (s)

Fig. 9 bis: presión mínima de gas en la llave del aparato

Las consecuencias de una presión de gas incorrecta pueden ser:

Presión de gas demasiado elevada	<ul style="list-style-type: none"> • La llama se apaga • Combustión incompleta • Concentración de CO elevada • Riesgo de intoxicación • Alto consumo de gas
Presión de gas demasiado baja	<ul style="list-style-type: none"> • La llama se apaga • Elevadas pérdidas de calor en la combustión • Contenido de O₂ elevado • Contenido de CO₂ bajo

2 Ajuste de la relación gas/aire

El objetivo de un servicio de la instalación respetuoso con el medio ambiente es la combustión completa del combustible y el mejor aprovechamiento posible. Una dimensión determinante para el servicio óptimo es el ajuste de la cantidad de aire de combustión.

En la práctica se ha demostrado que un pequeño exceso de aire es óptimo para el servicio de la instalación.

En la combustión se añade un poco más de aire de lo que sería necesario teóricamente. La proporción del aire de combustión adicional en relación con la demanda de aire teórica se denomina factor lambda λ .

El siguiente modelo de combustión representa esta proporción.

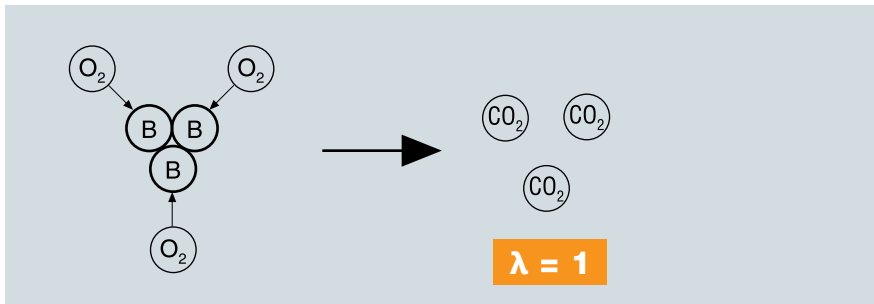


Fig. 10: Combustión ideal

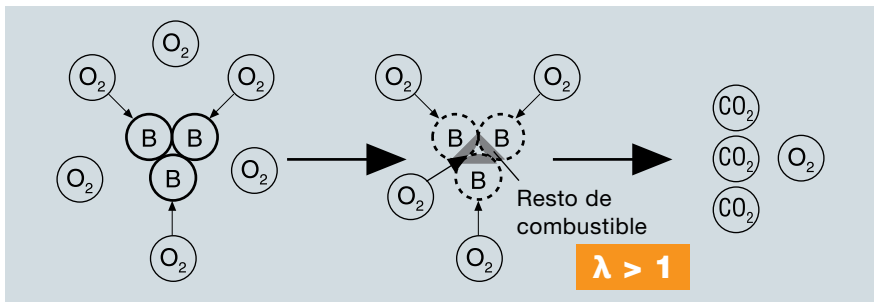
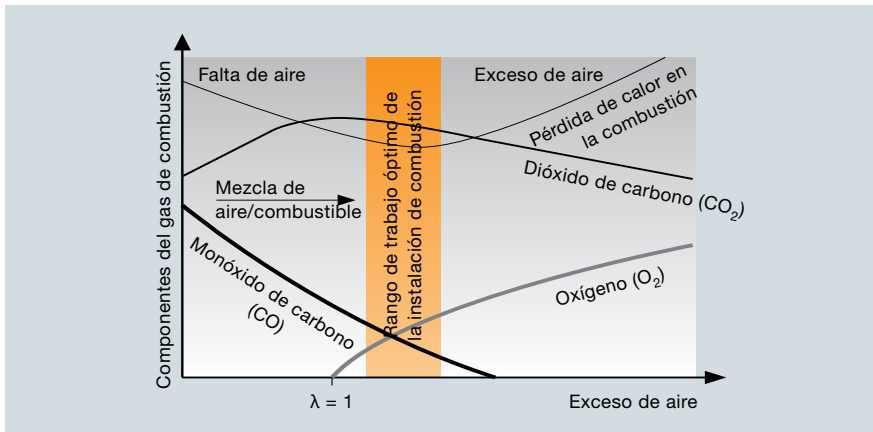


Fig. 11: Combustión real

El factor lambda se determina en relación con la concentración de los componentes de los productos de la combustión CO , CO_2 y O_2 . Las relaciones se muestran en el denominado diagrama de combustión, (v. fig. abajo). En la combustión, por a contenido de CO_2 le corresponde un contenido de CO (cuando falta aire/ $\lambda < 1$) o de O_2 (cuando sobra aire/ $\lambda > 1$).

Debido a que el valor de CO_2 marcha sobre un máximo, este no es determinante, de tal forma que será necesaria una medición de CO o de O_2 . En el servicio con exceso de aire (caso normal) hoy en día se prefiere generalmente la determinación del O_2 . Para cada combustible resultan un diagrama específico y un valor propio $\text{CO}_{2\text{max}}$ (comparar anexo).



El diagrama muestra que la pérdida de calor en la combustión aumenta tanto para una magnitud determinada de falta de aire como con una dimensión determinada de exceso de aire.

La pérdida de calor en la combustión ascendente correspondiente puede explicarse de la siguiente manera:

1. En el área de la falta de aire no se quema completamente ni se transforma en energía el combustible disponible.
2. En el área del exceso de aire se calienta demasiado oxígeno y se libera al aire libre directamente a través de la chimenea, sin ser utilizado para la generación de calor.

El rendimiento máximo en la combustión solo se consigue cuando, con un exceso de aire ligero, se reduce al mínimo el valor de la pérdida de calor de la combustión.

Los pasos de trabajo detallados para ajustar la relación de gas-aire adecuada para el rendimiento calorífico deseado aparecen detallados en la documentación del fabricante y descritos en general a continuación:

En los aparatos de poder calorífico el ajuste de la relación gas-aire se realiza mediante el método manométrico, esto es, se ajusta la presión de las toberas para el rendimiento máximo y mínimo. Para ello, en la boquilla de medición para la presión de la tobera se afloja el tornillo de junta y se conecta un manómetro.

La caldera de gas se pone primero al

máximo rendimiento del aparato (carga completa) mediante el menú de mando y después a mínimo (carga pequeña).

Para los dos niveles de potencia se modifica la presión de la tobera en los tornillos de ajuste correspondientes de las válvulas de gas y se controla mediante el manómetro.

Los datos sobre la presión de la tobera necesaria están indicados en la documentación del fabricante (en relación con el índice de Wobbe del gas empleado, el cual se puede consultar al proveedor de gas):

En los aparatos de condensación la mezcla de la relación de gas-aire se ajusta generalmente mediante la medición del contenido de dióxido de carbono (CO₂) en los productos de la combustión. Para ello se prepara el instrumento de medición de los productos de la combustión como se

Presión de la tobera (mbar)		Rendimiento calorífico (kW)			
		11	13	15	17
Índice de Wobbe	12.0 – 16.1	6.0	8.4	11.2	14.5
(kWh/m ³)	10.0 – 13.1	4.8	6.9	8.7	11.3

Tabla 1: Ejemplos para los valores de la presión de toberas

Tipo de gas	CO ₂ con máximo rendimiento calorífico	CO ₂ con mínimo rendimiento calorífico
Gas natural E (H)	9.5 %	8.7 %
Gas natural LL (L)	9.2 %	8.6 %

Tabla 2: Ejemplos para valores de ajuste de CO₂



describe en el paso 3 y se coloca la sonda en la chimenea. Finalmente se pone la caldera a la máxima potencia a través del menú de mando y se mide el contenido de CO_2 en los productos de la combustión. Para ajustar la relación de gas-aire se modifica ahora la cantidad de gas mediante el tornillo de ajuste (estrangulación de gas), hasta que los valores de CO_2 en los productos de la combustión se correspondan con las indicaciones del fabricante. Los fabricantes prescriben en parte también los valores de ajuste para el rendimiento mínimo del aparato. El ajuste se realiza conforme indicado para el rendimiento máximo. Después de estos ajustes básicos debe realizarse un control de la caldera de gas ajustada. Esta comprende la medición de la pérdida de calor de la combustión (qA) y del contenido de monóxido de carbono (CO) en los productos de la combustión.

3 Preparar el instrumento de medición para los productos de la combustión

Para preparar el instrumento de medición se recomiendan los siguientes pasos:

- Definición de la protección del sensor: para proteger los sensores

frente a excesos de rango en caso de concentraciones de CO elevadas pueden definirse valores límite a partir de los cuales se desconecta la bomba de aspiración y los productos de la combustión dejan de entrar en el instrumento de medición. En algunos instrumentos de medición, como el testo 330-2 LL, al sobrepasarse el valor límite se produce una disolución de los productos de la combustión con aire limpio y no es necesario interrumpir la medición.

- Prueba de estanqueidad: para evitar que entre aire limpio en el instrumento de medición y corrompa los resultados de la medición, antes de la medición de los productos de la combustión debería realizarse una prueba de estanqueidad. La sonda de combustión se cierra con un tapón de tal forma que, transcurrido cierto tiempo, el flujo en la bomba de aspiración sea cero. Si no fuera el caso, existe una inestanqueidad en el instrumento por lo que deberá revisarse, para comprobar, por ejemplo, si el cierre en la trampa de condensados está cerrado correctamente.

- Puesta a cero de los sensores de gas y del sensor de tiro: Para la

puesta a cero de los sensores la sonda de combustión deberá estar fuera del orificio de salida de los productos de la combustión, el caso ideal en el aire limpio. El instrumento de medición aspira el aire del entorno a través de la sonda de combustión y lo lleva a través de los sensores de gas. De esta forma se “aclaran” y la concentración de gas medida se pone “a cero”. Al mismo tiempo se pone a cero el sensor de presión del instrumento de medición de gases de combustión respecto a la presión de aire en el entorno. En algunos instrumentos de medición, como el testo 330-2 LL, la sonda se puede dejar en la chimenea

durante la fase de cero del gas y el tiro. Aquí se desacoplan tanto el conducto de gas de medición como el sensor de presión durante la puesta a cero de la sonda de combustión y se emplea para la puesta a cero la concentración de gas o la presión de aire en el entorno del instrumento de medición de los productos de la combustión.

4 Revisión de CO/CO₂ en el ambiente

Al realizar el mantenimiento de las calderas de gas en viviendas, por motivos de seguridad debe realizarse una medición del CO ambiente ya que, si el gas de escape retrocede,

Concentración de CO en el aire		Tiempo de inhalación y consecuencias
30 ppm	0.003 %	Máxima concentración en el puesto de trabajo con una jornada laboral de ocho horas
200 ppm 400 ppm	0.02 % 0.04 %	Dolores de cabeza leves a las 2 o 3 horas Dolores de cabeza en la zona de la frente a la hora o 2 horas, se extiende por toda la cabeza
800 ppm	0.08 %	Mareos, náuseas y contracciones en los miembros a los 45 minutos, pérdida del conocimiento a las 2 horas
1.600 ppm	0.16 %	Dolores de cabeza, náuseas y mareos a los 20 minutos, muerte a las 2 horas
3.200 ppm	0.32 %	Dolores de cabeza, náuseas y mareos transcurridos 5 a 10 minutos, muerte a los 30 minutos
6.400 ppm	0.64 %	Dolores de cabeza y mareo a los 1-2 minutos, muerte a los 10-15 minutos
12.800 ppm	1.28 %	Muerte a los 1 -3 minutos

puede producir concentraciones de CO elevadas y, con ello, suponer un peligro de intoxicación para el operario.

En España, la normativa UNE-60670 parte 10 y 13 de Julio 2014, indica que la medición del revoco, debe realizarse con las puertas y ventanas del local cerradas y con la campana

extractora, si existe, apagada. La medición debe realizarse mediante un sistema adecuado de medición de CO ambiente o CO₂ ambiente, situando la sonda del instrumento a 1,80m de altura.

Esta medición debería realizarse siempre en primer lugar, antes que el resto de mediciones.

Valores límite en España	
CO ambiente \leq 15 ppm	Correcto
15 ppm < CO ambiente \leq 50 ppm	Anomalía secundaria
CO ambiente > 50 ppm	Anomalía principal
CO ₂ ambiente \leq 2500 ppm	Correcto
2500 ppm < CO ambiente \leq 5000 ppm	Anomalía secundaria
CO ambiente > 5000 ppm	Anomalía principal

Efectos de la concentración de CO ₂ en personas		
387 ppm	0.0387 %	Concentración normal de CO ₂ al aire libre
5.000 ppm	0.5 %	Concentración máxima permitida en el puesto de trabajo
15.000 ppm	1.5 %	El volumen de la respiración aumenta en al menos un 40 por ciento
40.000 ppm	4 %	Concentración de CO ₂ al espirar
50.000 ppm	5 %	Mareos, dolores de cabeza
80.000 – 100.000 ppm	8 al 10 %	Asfisia, debilidad hasta pérdida de conocimiento Muerte a los 30-60 minutos
200.000 ppm	20 %	Pérdida rápida del conocimiento Muerte a los 5-10 minutos

Determinar la pérdida de calor en la combustión

La pérdida de calor en la combustión es la diferencia entre la entalpía de los productos de la combustión y del aire en relación al poder calorífico del combustible. Es por tanto una magnitud para la entalpía de los productos de la combustión que salen por la chimenea. Cuanto mayor sea la pérdida de calor de la combustión, peor será el rendimiento y, con ello, el aprovechamiento de energía, y más altas serán las emisiones de la instalación de calefacción.

Después de determinar el contenido de oxígeno y la diferencia entre la temperatura del aire y de la combustión puede calcularse la pérdida del calor de la combustión con los factores específicos del combustible. Los factores específicos del combustible (A2, B) aparecen en los instrumentos de medición de combustión. Para emplear los valores correctos para A2 y B es necesario elegir el combustible correspondiente en el instrumento de medición.

En lugar del contenido de oxígeno puede usarse también la concentración de dióxido de carbono (CO₂) para el cálculo. La temperatura de los humos (TH) y el contenido de oxígeno o de dióxido de carbono

(CO₂) debe medirse simultáneamente durante la medición en un punto. La temperatura del aire debería medirse simultáneamente.

El ajuste óptimo de la instalación de calefacción mediante el cálculo de la pérdida de calor de la combustión merece la pena:

1 % de pérdida de calor de la combustión = 1 % de consumo adicional de combustible o pérdida de energía/año = pérdida de calor de la combustión x consumo de combustible/año

Esto queda claro con el siguiente ejemplo:

Pérdida de calor de la combustión calculada = 10 %

Consumo de combustible/año = 3000 l de gasóleo para calefacción

Por lo tanto la pérdida de energía corresponde a unos 300 l de gasóleo para calefacción/año.

Las fórmulas de cálculo para la pérdida de calor de la combustión las encontrará en el anexo, en el punto 13.1.

A continuación se explican más detalladamente los parámetros necesarios para el cálculo:

Medir la temperatura del aire

La mayoría de los instrumentos de

medición de combustión vienen equipados de forma estándar con un sensor de temperatura en el instrumento. De esta forma, al colocar el instrumento de medición en la carcasa del quemador se mide la temperatura del aire en las inmediaciones del punto de aspiración del quemador.

En los sistemas independientes del aire del entorno, este sensor se reemplaza por un sensor de temperatura separado, que se coloca en la entrada del aire (ver la figura 12).

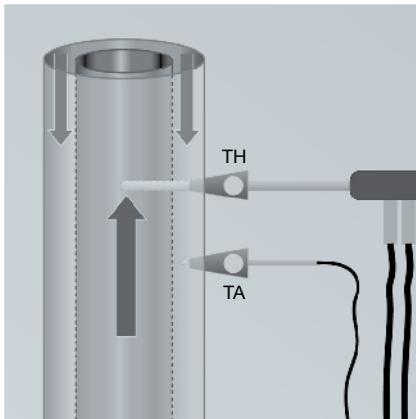


Fig. 12: Medición en instalaciones independientes del aire del entorno

Medir la temperatura de los humos

Mediante el termopar de la sonda de combustión se mide la temperatura de los humos. Para ello se introduce la sonda de combustión por el

orificio de medición de la chimenea (según la normativa española UNE 15378, la toma de muestras de los productos de la combustión se debe realizar en la zona próxima a la salida de evacuación de la caldera, a una distancia inferior o igual a 3 diámetros). Mediante una medición continua de la temperatura se busca la temperatura máxima de los productos de la combustión (el denominado núcleo o centro de la corriente) y se coloca allí la sonda. En el núcleo de la corriente la temperatura y la concentración de dióxido de carbono (CO_2) tienen la máxima concentración y el contenido de oxígeno (O_2) es el mínimo.

Aviso: La acumulación de agua condensada en el sensor de temperatura puede producir una reducción repentina de la temperatura de los humos.

Medir la concentración de O_2

El oxígeno no utilizado en caso de exceso de aire en la combustión aparece como parte gaseosa en los productos de la combustión y es un factor de medición para determinar el rendimiento de la combustión.

Una bomba aspira los productos de

la combustión mediante una sonda de combustión y los lleva al conducto de medición del analizador de combustión. Allí se pasa a través del sensor electroquímico de medición de O_2 y se determina la concentración de gas.

El contenido de O_2 también se emplea para calcular la concentración de CO_2 en los productos de la combustión, la cual, como se ha descrito anteriormente, se emplea para ajustar los aparatos al valor calorífico de gas.

Medir la concentración de dióxido de carbono (CO_2)

En lugar del contenido de oxígeno, como ya se ha mencionado, puede usarse también la concentración de dióxido de carbono (CO_2) para calcular la pérdida del calor de la combustión.

Si con un exceso de aire bajo (combustión completa) existe una parte de CO_2 lo más alta posible, entonces las pérdidas de calor de la combustión son lo más bajas posibles. Para cada combustible hay un contenido de CO_2 máximo alcanzable (CO_{2max}) en los productos de la combustión, que viene dado

por la composición química del combustible. Sin embargo, este valor no puede obtenerse en la práctica, ya que para un servicio seguro del quemador es siempre necesario un exceso de aire, que reduce la parte porcentual de CO_2 en los productos de la combustión. Por este motivo, al ajustar el quemador no se busca el máximo sino un contenido de CO_2 lo más alto posible.

Valores de CO_{2max} para diferentes combustibles:

- Gasóleo para calefacción
15.4 Vol. % de CO_2
- Gas natural
11.8 Vol. % de CO_2
- Carbón
18.5 Vol. % de CO_2

En la documentación del fabricante encontrará frecuentemente datos sobre las concentraciones de CO_2 que pueden alcanzarse y sobre las modificaciones que deben llevarse a cabo en los ajustes de la cantidad de aire para obtener estos valores.

La mayoría de los instrumentos



Unos valores de O_2 repentinos muy elevados pueden deberse a la no estanqueidad del instrumento; cuando el aire fresco entra, los productos de la combustión se diluyen. Para comprobarlo deberá realizarse una prueba de estanqueidad del instrumento de medición.

de medición de combustión no tienen un sensor de CO_2 , sino que la concentración de CO_2 en los productos de la combustión se mide por el contenido de O_2 . Esto es posible ya que los dos valores están relacionados entre sí. Como en este cálculo el contenido de CO_2 máximo del combustible correspondiente varía, antes de cada medición debe introducirse el combustible adecuado de la instalación en el instrumento de medición de combustión.

Cálculo de la pérdida de calor de la combustión (qA)

El instrumento de medición calcula la pérdida de calor de la combustión a partir de estos valores medidos.



Una pérdida de calor de la combustión atípicamente elevada puede tener las siguientes causas:

- Una puesta a cero incorrecta del instrumento de medición
- Combustible seleccionado incorrecto

Una reducción repentina de la temperatura de los productos de la combustión puede tener las siguientes causas:

- Hay una gota de agua condensada en el termopar (sensor de temperatura)
- Solución: Montar la sonda de combustión en horizontal o hacia abajo para que el agua condensada pueda gotear.

5 Cálculo del rendimiento (η) En las instalaciones de calefacción convencionales

El rendimiento de la combustión (η) de una instalación de calefacción convencional se calcula extrayendo la pérdida de calor de la combustión (qA) de la energía total introducida (poder calorífico HU = 100 % de la energía introducida). Para calcular el rendimiento debe determinarse primero la pérdida de calor de la combustión (ver detalles más arriba).

En las calderas de condensación

Como en las calderas de condensación modernas se obtiene calor de vaporización, para realizar un cálculo correcto en Testo se ha introducido el valor adicional XK, que contiene el aprovechamiento del calor en relación con el poder calorífico. Cuando los productos de la combustión se enfrían por debajo

de su temperatura de punto de rocío, cuyo valor teórico específico para el combustible está registrado en el instrumento de medición Testo (ver la fig. 13), el coeficiente XK indica el calor de vaporización recuperado del agua condensada como valor negativo, al tiempo que la pérdida de calor de la combustión se reduce o puede volverse negativa. El rendimiento relativo al poder calorífico puede alcanzar así valores por encima del 100 % (ver el siguiente ejemplo).

$$A2 = 0.68$$

$$B = 0.007$$

$$TH = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$TA = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$O_2 = 3 \%$$

$$XK = 5.47 \%$$

$$qA \text{ (sin coeficiente XK)} = 1 \%$$

$$qA \text{ (con coeficiente XK)} = -5 \%$$

$$\eta = 100 \% - (-5 \%)$$

Combustible	Temperatura de punto de rocío (en $^\circ\text{C}$)
Gas natural H	57.53
Gasóleo para calefacción EL	50.37
Gas licuado (70/30)	53.95
Gas ciudad	61.09

Fig. 13: Temperaturas del punto de rocío relativas al combustible de los productos de la combustión. Calculada para presión nominal (1013 mbar) y combustión estequiométrica basada en la documentación de ZIV.

Cuando se ha transformado completamente el combustible, se genera calor y vapor de agua.

- Si se detecta completamente el calor, se obtiene un 100 % del poder calorífico inferior H_U .
- Si se añade la energía obtenida en el vapor de agua (calor de vaporización), se obtiene el valor calorífico superior H_S .
- El valor calorífico superior total

H_S es siempre superior al poder calorífico inferior H_U .

- Al calcular el rendimiento se toma siempre como base el poder calorífico inferior H_U .
- Las calderas de condensación aprovechan adicionalmente para el poder calorífico también la energía de condensación. Por este motivo, el cálculo de su rendimiento puede ser superior al 100 %.

En el siguiente gráfico se muestra claramente con otro ejemplo por qué el rendimiento es superior a 100 % en calderas de condensación.

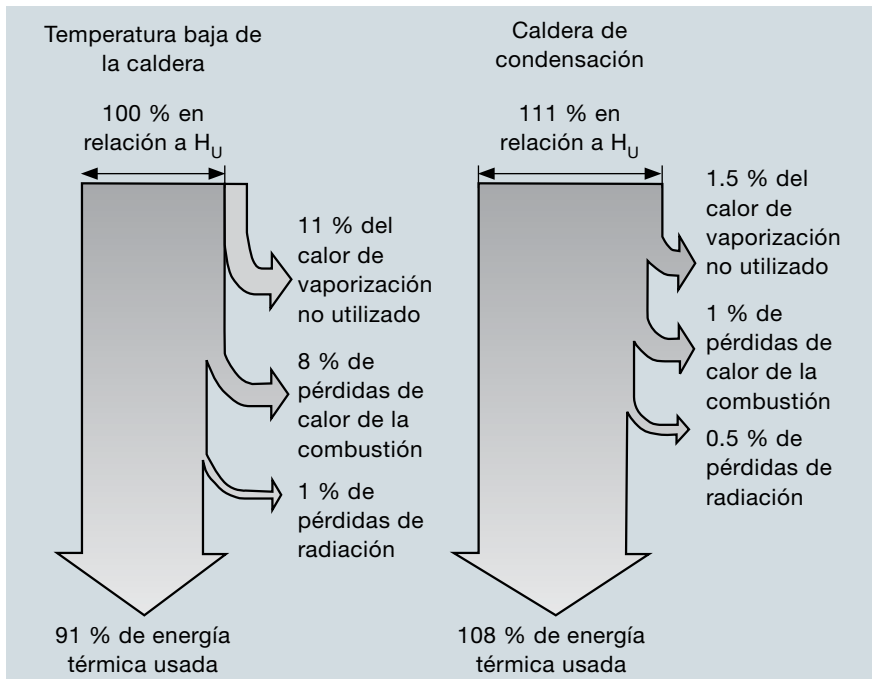


Fig. 14: Pérdidas de energía en calderas de baja temperatura y calderas de condensación



En España según el apartado 4.2.1.a del Real Decreto 238/2013, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por el Real Decreto 1027/2007, indica que en las inspecciones periódicas de la eficiencia energética el rendimiento a potencia útil nominal tendrá un valor no inferior al 80%.

6 Medición del tiro de la chimenea

La ascensión o el tiro de la chimenea son el requisito básico en calderas de tiro natural para extraer los productos de la combustión por la chimenea. Debido a la baja densidad de los productos de la combustión calientes frente al aire externo frío, en la chimenea se forma un vacío, denominado también tiro de la chimenea. Este vacío succiona el aire de combustión y se superan todas las resistencias de la caldera y del conducto de extracción de los productos de la combustión. En las calderas de sobrepresión no es necesario tener en cuenta las relaciones de presión en la chimenea ya que un quemador de soplador genera la sobrepresión necesaria para extraer los productos de la

combustión. En estas instalaciones puede emplearse un diámetro de chimenea menor.

Durante la medición del tiro de la chimenea se calcula la diferencia entre la presión dentro del conducto de los productos de la combustión y la presión en el lugar de emplazamiento.

Según la normativa española UNE 60670-10:2014, la sonda de combustión debe introducirse perpendicularmente al conducto de evacuación de los productos de la combustión de manera que, en lo posible, el extremo de la sonda de combustión quede situado en el eje de la vena de los productos de la combustión.

Como se ha descrito más arriba, el sensor de presión del instrumento de medición debe ponerse a cero antes de la medición.



Unos valores muy bajos en la medición del tiro pueden tener las siguientes causas:

- El trayecto del tiro en el instrumento de medición no es estanco.
- El sensor de presión no se ha puesto correctamente a cero.

Unos valores muy elevados pueden tener las siguientes causas:

- Un tiro de la chimenea demasiado fuerte.
- El sensor de presión no se ha puesto correctamente a cero.

En España, la normativa UNE-60670 parte 10 y 13 de Julio 2014, indica que la comprobación del tiro del conducto de evacuación, debe realizarse en los aparatos de tipo B de tiro natural, cuando el aparato esté ubicado en un local no considerado zona exterior.

Para dicha comprobación se puede utilizar una de las 2 técnicas indicadas a continuación:

1- Se debe comprobar que el tiro es suficiente, midiendo la presión diferencial en el conducto de extracción de los productos de la combustión y obteniendo como resultado un valor de depresión.

Valores típicos del tiro de la chimenea: 0,03 - 0,30 hPa (mbar) presión negativa

2- Cuando la comprobación del revoco se efectúe por medición del CO₂ ambiente, ésta se debe realizar de forma conjunta y simultánea con la medición del CO ambiente, poniendo en funcionamiento simultáneo todos los aparatos en régimen estacionario a la máxima potencia. Transcurridos 5 minutos desde la puesta en marcha de los aparatos de gas, se mide la concentración de CO₂ ambiente del local mediante un

analizador adecuado cuya sonda se sitúe aproximadamente a 1m de los diferentes aparatos y 1,80m de altura (ver tabla “valores límite en España” de la pág. 45).



Fig. 15: El instrumento de medición testo 315-3 permite la medición conjunta y simultánea del CO/CO₂ ambiente.

7 Medición de la concentración de CO en la combustión

La comprobación del valor de CO ofrece información concluyente sobre la calidad de la combustión y ayuda a la seguridad del operario de la instalación. Si los conductos de extracción están obstruidos, los productos de la combustión, por ejemplo en calefactores de gas atmosféricos, saldrían revocados a la habitación donde se encuentra la caldera, lo que supondría un riesgo para el operario. Por este motivo, después de realizar los trabajos de ajuste en la caldera de gas, debe medirse la concentración de monóxido de carbono (CO) y deben revisarse los conductos de extracción.

La medición, según la normativa española UNE 60670-10:2014, deberá realizarse con el aparato en funcionamiento en régimen estacionario y en la posición de máxima potencia alcanzable en el momento de la medición y tras 2 minutos después de la puesta en servicio de la combustión por gas, ya

que solo entonces el contenido de CO habrá aumentado durante el arranque de la instalación y habrá bajado al valor normal. Esto se aplica también a las calderas de gas con regulación de la combustión, ya que estas realizan un calibrado al arrancar el quemador, durante el cual aparecen brevemente emisiones de CO muy elevadas. La medición se realiza como en la determinación de la pérdida de calor de la combustión en la corriente



Fig. 16: Con el analizador de combustión testo 330 LL se miden los productos de la combustión.



Las siguientes causas deben considerarse en un revoco:

- Estrechamiento de la tuberías de los productos de la combustión por suciedad o deformación.
- Suministro de aire de combustión insuficiente.
- Fatiga de material en juntas, uniones de tuberías desplazadas, corrosión.

central de la chimenea. Sin embargo, y debido a que los productos de la combustión están diluidos en aire fresco, debe calcularse el contenido de CO en los productos de la combustión no diluidos (ya que si no, el contenido de CO podría resultar manipulado al mezclarlo con aire). Para ello, el instrumento de medición calcula la concentración de CO no diluido/corregido junto con el contenido de oxígeno medido en el conducto de los productos de la combustión y la muestra como CO_{corr} (CO corregido).

La fórmula de cálculo para la concentración del CO la encontrará en el anexo 13.1.

En España, la normativa UNE-60670 parte 10 y 13 de Julio 2014, indica que la medición del CO en la combustión deberá obtenerse realizando la medida al menos durante 2 minutos, entonces el valor de CO puede oscilar muy poco, o ser razonablemente estable, en cuyo caso se debe anotar o registrar este valor; o el valor de CO puede estar permanentemente oscilando (caso de aparatos en condiciones menos óptimas), en cuyo caso se deben observar los valores alcanzados durante un minuto, registrando y anotando, si es preciso, el valor lo más cercano posible al

máximo observado.

Se considera que la combustión es correcta siempre y cuando el CO corregido no supere las 500ppm de concentración. en el caso que la concentración del CO corregido sea superior a 500ppm e inferior o igual a 1.000ppm se considerará una anomalía secundaria y finalmente una concentración superior a 1.000ppm se considerará una anomalía principal.

8 Revisión de los conductos de salida de humos

En las calderas de gas atmosféricas, la perfecta extracción de los productos de la combustión es un requisito necesario para



Fig. 17: uso de un detector de revocos.

un funcionamiento seguro de la instalación de combustión. Para ello puede emplearse un detector de revocos que se mantiene junto al cortatiros y detecta allí la precipitación de la humedad contenida en los productos de la combustión.

Prueba de estanqueidad del conducto de extracción

En las instalaciones de calefacción independientes del aire del entorno, la estanqueidad del conducto de extracción de los humos se comprueba mediante la medición de entrada de O_2 en el paso anular. La concentración de O_2 en el aire succionado en el paso anular debería ser generalmente del 21 %. Si se miden valores por debajo del 20.5 %, esto debe interpretarse como una

fuga en el conducto interno de los productos de la combustión y debe revisarse la instalación. La sonda multipunto en forma de hoz de Testo permite una medición segura y rápida del contenido de O_2 en el paso anular. El método convencional para la prueba de estanqueidad en un conducto de salida de humos mediante la prueba de presión se emplea hoy en día solo en la chimenea. Mediante un manómetro se introduce aire en el conducto de los gases de escape hasta obtener una presión de 200 hPa. Manteniendo la presión se determina qué cantidad de aire sale por las fugas. Con fugas de hasta 50 l/(hm²) el conducto de gases de escape se considera como suficientemente hermético.

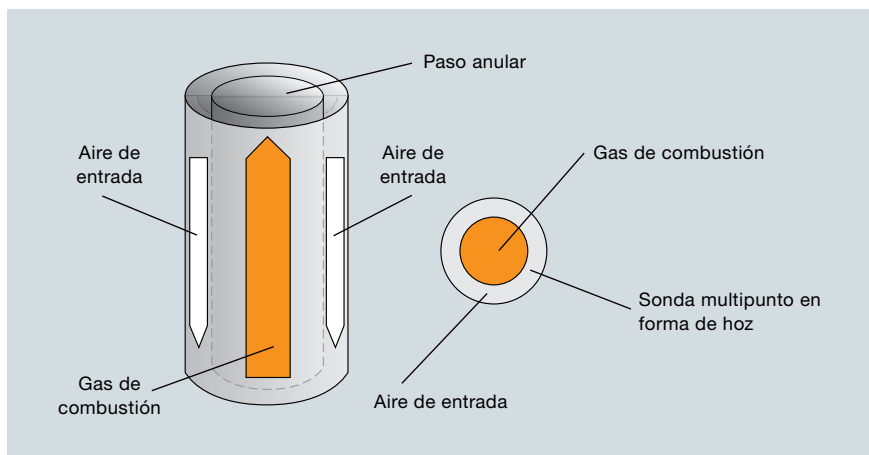


Fig. 18: Medición de O_2 primario con sonda multipunto en forma de hoz

9 Cuidado del instrumento de medición

Después de la medición deberá extraerse la sonda de combustión de la chimenea con la bomba de gas de medición todavía conectada. Esto ayuda a llevar el aire limpio del entorno a través de los sensores de gas y a limpiarlos.

Revisiónm adicional en sistemas de combustión: revisión de óxidos nítricos (NO_x)

Al realizar la medición de óxido nítrico pueden comprobarse las medidas relativas a la combustión para reducir la expulsión de óxido nítrico en los sistemas de combustión. Como óxidos nítricos (NO_x) se denominan la suma de monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). La proporción de NO y NO₂ es siempre la misma en el área de combustiones pequeñas (excepto las calderas de condensación) (97 % de NO, 3 % de NO₂). Por este motivo, los óxidos nítricos NO_x se calculan normalmente después de medir el monóxido de nitrógeno NO.

Si es necesario realizar mediciones de NO_x más precisas, las partes de monóxido de nitrógeno (NO) y de dióxido de nitrógeno (NO₂) deberán medirse y sumarse. Esto se aplica a las calderas de condensación o al utilizar combustibles mixtos, ya que la relación en estos casos no es del 97 % al 3 %.

Debido a la alta solubilidad en agua del dióxido de nitrógeno (NO₂) para calcular exactamente la concentración de NO₂ debe medirse gas de escape seco, ya que de lo contrario no se tendrá en cuenta el NO₂ diluido en el agua condensada. Por este motivo, en las mediciones de dióxido de nitrógeno debe emplearse una preparación de gas que seque el gas de escape antes de la medición.

- Si la medición se realiza en las inmediaciones de un filtro estático, deberá ponerse a tierra la sonda de combustión debido a la carga estática.
- Si se esperan cargas de polvo y hollín elevadas, deben emplearse filtros limpios y secos. Emplear prefiltros en caso necesario.



- El consumo de cigarrillos influye en la medición (mín. 50 ppm).
- El aliento de un fumador altera la medición aprox. 5 ppm.
- Realizar la puesta a cero al aire libre.

5.2 Prueba de funcionamiento y ajustes en las cámaras de combustión de aceite

Los pasos de trabajo y las indicaciones descritos aquí muestran ejemplos de cómo deben ser los ajustes y las mediciones durante la puesta en marcha de aparatos de poder calorífico. Estos son calderas de temperaturas bajas con quemador de soplador de aceite. Aquí no se tienen en cuenta los aparatos de condensación.

1 Medición del número de opacidad

Durante la medición del número de opacidad se introduce la sonda del medidor electrónico en el conducto de salida de los productos de la combustión, se inicia la medición y una vez el medidor ha aspirado 1,63 litros de referencia, la medición se detiene y se muestra el resultado por pantalla, el método de medida utilizado es el fotoeléctrico (medición que también puede realizarse con una bomba manual, ver capítulo 5.3). El valor de la opacidad en España, según el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía),



Fig. 19: medición de la opacidad con un medidor electrónico de gran precisión.

no debería de sobrepasar el número 1 en la escala de Bacharach, con números de opacidad mayores deberá revisarse y modificarse primero el ajuste básico del quemador de aceite antes de seguir optimizando los ajustes con ayuda de un analizador de combustión.

El paso 2 explica el procedimiento a seguir:

2 Ajustes en quemadores de aceite

Durante la puesta en servicio



En las instalaciones desconocidas debería realizarse primero una medición del hollín para no cargar innecesariamente los instrumentos de medición por los posibles residuos de la combustión (hollín y derivados de aceite).



La causa de los residuos de aceite suele ser suciedad en la tobera. Además, otras causas podrían ser los electrodos de encendido que salen en el aceite pulverizado.

En ambos casos las gotas de aceite no se pulverizan lo suficientemente, por lo que no se queman. Con poca frecuencia –pero también se debe tener en consideración– los casos son una mala combustión (por falta de oxígeno) o un “enfriamiento de la llama”. Este último se da cuando la caldera y el quemador no son aptos entre sí, esto es, cuando el rendimiento del quemador es mucho menor que el rendimiento de la caldera.

y el mantenimiento de quemadores de aceite debe realizarse un ajuste y control de los parámetros más importantes. Los pasos de trabajo individuales se detallan en la documentación del fabricante y descritos a continuación de forma general para los denominados quemadores de soplador de llama amarilla.

Selección de la tobera correcta

En la tabla de selección de toberas se eligen la tobera adecuada y la presión de aceite que debe ajustarse en función del rendimiento deseado del quemador.

Ajuste básico de la cantidad de aire

La documentación del fabricante contiene información sobre los ajustes básicos para la cantidad de aire necesaria para el quemador. En función del rendimiento calorífico necesario para la combustión se indican en un escala los valores correspondientes para el ajuste de la

válvula de aire y del disco deflector.

Ajuste básico de la bomba de aceite (presión de la bomba)

La presión de la bomba ya ha sido definida en función del rendimiento deseado para el quemador y de la elección de la tobera en la tabla de selección de toberas.

En la bomba de aceite se enrosca un manómetro para leer la presión de la bomba y se ajusta correspondientemente la presión de la bomba mediante el tornillo de regulación de la presión. Con un vacuómetro instalado también en la bomba de aceite se comprueba que la presión negativa en el conducto de succión no supere los 0.4 bar.

Optimización y control de la combustión

Con estos ajustes básicos de la cantidad de aire y de la presión de aceite deberían obtenerse valores de combustión adecuados que, con ayuda de una medición de la combustión, puedan seguir



En el **quemador de soplador de llama amarilla** el gasóleo para calefacción se pulveriza en una tobera y la gasificación del aceite se produce dentro de la llama. Durante la combustión se puede ver una llama amarillenta.

En un **quemador de soplador de llama azul** el gas de escape se utiliza para calentar el aceite pulverizado antes de la combustión real y, de esta forma, la gasificación del aceite se produce antes de la llama. Aquí se ve una llama azulácea.

optimizándose.

Al tiempo se realiza la optimización de la combustión generalmente mediante la modificación de la cantidad de aire en la válvula de aire (ajuste básico) o del disco deflector (ajuste fino). Muy poco aire de combustión evita una combustión completa y, con ello, un aprovechamiento completo del combustible, produciendo la formación de hollín. Demasiado aire de combustión produce un calentamiento del exceso de aire en la cámara de combustión, que se extraerá por la chimenea sin ser utilizado.

Dependiendo del fabricante del quemador, para la optimización de la combustión se dan especificaciones para los valores de CO₂ o de CO, del exceso de aire o las pérdidas de calor de la combustión/rendimiento. Estos valores se determinan con un analizador de combustión. Los siguientes pasos de trabajo no se explicarán más detalladamente ya que no se diferencian de los pasos en la comprobación y en el ajuste de las cámaras de combustión por gas

y pueden consultarse por tanto en el capítulo 5.1 (pasos 3 a 7).

3. Paso: Preparar el instrumento de medición para los productos de la combustión
4. Paso: Determinar la pérdida de calor de la combustión
5. Paso: Cálculo del rendimiento (η)
6. Paso: Medición del tiro de la chimenea
7. Paso: Medición de la concentración de CO en la combustión

3

Cálculo del rendimiento a potencia útil nominal

Para poder calcular la potencia útil nominal y contrastar que el rendimiento del generador de calor no es inferior al 80% indicado en la modificación del RITE (REAL DECRETO 238/2013), necesitaremos obtener los parámetros necesarios de la siguiente fórmula para conocer la potencia útil del sistema:

$$P_u = \rho * Q * C_e * \Delta t$$

Donde:

P_u = Potencia útil (kcal/h)

ρ = Densidad del fluido (Kg/litro),

en el caso del agua, $\rho = 1$ Kg/litro

Q = Caudal de agua (litros/h).

C_e = Calor específico, en el caso del agua = $1 \text{ Kcal} / \text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}$

Δt = Diferencia de temperatura del fluido portador entra la entrada y salida del generador de calor ($^\circ\text{C}$).

Mediante el caudalímetro testo, podemos obtener el caudal del agua. La determinación del caudal se efectúa simplemente abriendo la apertura inferior del caudalímetro hasta que el nivel del agua sea estable, el indicador solidario a la apertura nos indica el caudal de agua en ese instante (ver fig. 20).

Mediante la medida de la temperatura diferencial entre la entrada y salida del fluido portador en el generador de calor, obtendremos la temperatura diferencial (Δt - Ver fig. 21).

Una vez calculada la Potencia útil y conociendo la Potencia nominal suministrada en los datos técnicos del fabricante del generador de calor, podremos obtener el valor del rendimiento real del generador de calor, mediante la fórmula:

$\text{Rendimiento} = (\text{Potencia Útil} / \text{Potencia Nominal}) \cdot 100.$



Fig. 20: caudalímetro para determinar el caudal de agua de la caldera.



Fig. 21: termómetro digital para determinar la temperatura diferencial (Δt)

5.3 Control

Prueba de funcionamiento y ajustes en las combustiones de sólidos.

1 Medición del número de opacidad

Durante la medición del número de opacidad se introduce la bomba de opacidad manual con el papel de filtro colocado en el conducto de salida de los productos de la combustión y se succionan los productos de la combustión mediante diez bombeadas uniformes (fig. 22). A continuación se extrae la hoja del filtro y se examina la presencia de derivados de aceite (gotas de aceite). Si se determina una coloración por derivados de aceite, o el filtro está húmedo por la formación de agua condensada, deberá repetirse la medición. El valor de la opacidad en España, según el IDAE, no debería de sobrepasar el número 2 en la escala de Bacharach, con números de opacidad mayores deberá revisarse.

2 Medición de la combustión y partículas finas

El Real Decreto 1027/2007 (RITE), indica que en el caso de combustiones producidas por combustibles sólidos, será obligada la medición de los productos de la combustión y las partículas sólidas en sistemas superiores a 20KW.



Fig. 22: bomba de opacidad manual para determinar el número de la opacidad

A continuación se describe la solución testo 380, verificado por el organismo TÜV para los niveles de valores límite $\frac{1}{2}$ y según la normativa alemana VDI 4206 hoja 2, que ha sido desarrollada por testo AG para la medición conjunta de partículas y combustión según se indica en la enmienda de ley alemana 1.^a BImSchV, la cual prescribe la revisión reiterada de instalaciones de combustibles sólidos pequeñas y medianas.

1. Informaciones generales

Incluso cuando el maletín, pequeño y ligero, no lo aparente a primera vista: el instrumento de medición de partículas finas testo 380 es un analizador de alta precisión que puede medir simultáneamente CO, O₂ y partículas finas.

El testo 380 está compuesto básicamente de tres componentes principales:

El sensor de partículas finas

El sensor de partículas finas permite una medición online en la que se puede evaluar mejor cuándo y por qué se producen emisiones de partículas finas. Además, los valores de medición se pueden emitir inmediatamente.

La sonda con el diluidor giratorio

Con solo una sonda se miden los valores de CO, O₂, así como de partículas finas. Naturalmente la sonda puede realizar también la medición del tiro y la medición de la temperatura de los gases de combustión.

El testo 330-2 LL

El analizador de combustión que posibilita la medición de CO y O₂. Lo mejor de todo es que se puede sacar el testo 330-2 LL del testo 380 en cualquier momento



Fig. 23: medición de partículas finas en sistemas de calefacción de combustibles sólidos

e, independientemente de este, utilizarse para las mediciones en los quemadores de aceite y de gas. Esto tiene la ventaja de que solo son necesarios un par de sensores electroquímicos que se desgastan con el tiempo. Afortunadamente, estos sensores tienen también como viene siendo normal una garantía de 4 años. Sin embargo, y al igual que otros instrumentos electrónicos, el testo 380 no debería exponerse a humedad ni a condensación. Por esta razón, no debe dejarse el instrumento de medición en el coche durante la noche.

2. Preparativos

El instrumento de medición de partículas finas necesita un cierto tiempo de estabilización (generalmente < 10 min). Durante la estabilización el sistema se calienta a la temperatura de servicio. Si el instrumento de medición se ha enfriado durante la noche en el coche, esta estabilización durará por tanto más tiempo.

En cuanto se monta y conecta el instrumento de medición, deberá realizarse la prueba de estanqueidad y seleccionarse el combustible. Solo después se calentará el instrumento a las temperaturas correctas. Cuando se ha ajustado el combustible, se pueden realizar sin problemas otras actividades (como la revisión de la humedad en el combustible) que no requieren estar junto al instrumento.

3. Prueba de estanqueidad

En España no es obligatoria la prueba de estanqueidad; en Alemania, antes de una medición en una nueva instalación o una revisión oficial, la primera pregunta será si el instrumento de medición ha pasado la prueba de estanqueidad o no. Si se hace clic en “No”, se pasará a la prueba de estanqueidad. Para la prueba de estanqueidad hay que conectar dos vías de gas.

Vía de gas de entrada

Para sellar la vía de gas de entrada debe instalarse la tapa en la sonda. Esta cierra la vía entre la sonda y los sensores de CO, O₂.



Vía de gas para medición

Para sellar la vía de gas para medición debe colocarse la tapa pequeña en la trampa de condensados. Aquí se comprueba la estanqueidad entre la caja, el diluidor giratorio y el sensor de partículas finas. Como el punto es de difícil acceso, la entrada de aire puede bloquearse también con el dedo. Hay que prestar atención a no quitar el dedo antes de concluir la comprobación de las dos vías de gas (se confirma con “OK”).

4. Selección del combustible

En cuanto se haya elegido el combustible, el testo 380 se ajusta a las temperaturas de servicio necesarias. Ahora comienza el tiempo de estabilización, que sirve para llevar al sensor de partículas finas a un estado definido y ponerlo a cero. Durante la estabilización se pueden

introducir los coeficientes.

CARPETA/PUNTO DE MEDICIÓN	
Astillas de madera	
Criterios de estabilidad	
Valor límite de partículas	0.100 g/m ³
Humedad quemador (u) +/-15 %	30 %
Temp. ambiente	21.2 °C
Humedad ambiental	50.0 %
Temp. calor portador	60.0 °C
Potencia nominal	25.0 kW
Rango de carga	Carga completa
Duración medición	15 min
<input type="button" value="Editar"/> <input type="button" value="Siguiente"/>	

Para ello deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

Valor límite de partículas

Independientemente del valor límite de partículas introducido, la incertidumbre correspondiente al valor límite se extrae del resultado de la medición. Las incertidumbres pueden consultarse en el boletín oficial alemán o imprimirse desde las informaciones del instrumento.

Humedad del combustible

La humedad del combustible afecta a la generación de partículas finas. Por este motivo, el valor introducido deberá ser lo más preciso posible. Para evitar obtener resultados de medición incorrectos, es suficiente sin embargo con indicar la humedad del combustible con una incertidumbre de $\pm 15\%$ (u). Esto supone que,

introduciendo un 20 % (u), se cubre el área del 5 % (u) al 35 % (u). Para medir la humedad del combustible recomendamos el testo 606-2.

Temperatura ambiente

Para tener un valor de referencia para la temperatura ambiente hemos incorporado un sensor de temperatura en el testo 380. Sin embargo, la temperatura de la caja de medición le afecta durante un tiempo de ejecución largo. Por eso se recomienda revisar la temperatura ambiente de forma paralela con otro instrumento de medición (p. ej. el testo 606-2).

Humedad ambiental

La mejor forma de medir la humedad ambiental debería ser en el mismo punto que la temperatura ambiente. Por eso, aquí recomendamos también el testo 606-2. Con él pueden medirse la temperatura ambiente y la humedad ambiental pulsando pocas teclas.

Temperatura del caloportador

Este valor es solo para la documentación. Se indica al imprimir el acta y permite la documentación de todos los valores relevantes en una hoja.

Potencia nominal

Este valor es también solo para la

documentación. Se indica también al imprimir el acta.

Rango de carga

Dependiendo de la instalación, tras 5 minutos deberá ajustarse el proceso de combustión a media carga. Cuando se selecciona la opción de menú “Media carga”, el testo 330-2 LL emite una señal acústica a los 5 minutos.

Duración de la medición

El testo 380 permite ajustar el tiempo de medición hasta 600min. Según la ley alemana 1.^a BImSchV el tiempo de medición debe ser de 15 minutos. Si se han introducido los coeficientes y se pulsa en “Siguiente” o si ha concluido el tiempo de estabilización, se pasa entonces a la medición del tiro y la búsqueda del centro del conducto de salida de los productos de la combustión, donde la temperatura es más elevada. Pulsando “ESC” se puede volver en cualquier momento a la introducción de coeficientes.

5. Preparación de la medición

Al iniciar la medición del tiro se pone primero a cero el instrumento, que comienza después a medir el tiro y la temperatura de los gases de combustión.

Para localizar más fácilmente el centro del conducto de los productos de la



combustión, en la indicación aparece una barra roja que se queda siempre en el valor más alto. La barra de estado verde muestra el valor actual. Cuando se ha encontrado el centro del conducto, se puede detener la medición. Mediante “Siguiente” se pasa a la disposición para la medición. El testo 380 puede estar en este modo mientras se concluyen el resto de trabajos o se alcanza el estado correcto del quemador. La medición se inicia al pulsar el botón de inicio.

6. Medición de partículas finas

Cuando se inicia la medición, el diluidor giratorio empieza a girar. En esta fase, el sensor de partículas finas se llena por primera vez de partículas. Teniendo en cuenta la carga aparecida en esta fase, el analizador decide si se está expuesto a una concentración baja o alta y adapta correspondientemente la

velocidad del diluidor. Tras esta segunda fase de estabilización que dura unos 3 minutos, el analizador pasa al modo de medición. Los valores mostrados ahora se usan para evaluar la instalación. Si, al contrario de lo esperado, no se deben utilizar los valores todavía en la medición, se pueden borrar los valores medidos mediante “Opciones”, “repetir”. El tiempo de medición se reiniciará (p. ej. cuando el quemador todavía no ha alcanzado el estado de servicio correcto).

A continuación un resumen general de los valores de medición:

g/m³ PM = valor de partículas actual (calculado para el oxígeno de referencia)

g/m³ PM Ø = valor medio de partículas desde el inicio de la medición (calculado para el oxígeno de referencia)

ppm CO = valor de CO medido en partes por millón

mg/m³ CO = concentración de CO (calculado para el oxígeno de referencia)

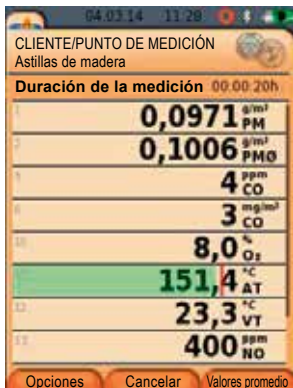
% O₂ = porcentaje de oxígeno (si este valor aumenta por encima del 20 %, dejarán de mostrarse valores calculados para el oxígeno de referencia, ya que estos valores no serán útiles)

°C TH = temperatura de los humos en °C

°C TA = temperatura del aire de combustión en °C (permitida solo con el sensor de temperatura externo (0600 9787) ya que con el sensor de temperatura interno el calor de la caja de partículas finas puede influir en el resultado). La información del aire de combustión solo tiene fines informativos.

ppm NO = valor de NO medido en partes por millón (aparece solo cuando se emplea un sensor de NO)

% AF = humedad de gas de escape en porcentaje. La humedad del gas de escape se calcula a partir de los parámetros introducidos para los coeficientes. Cuanto más precisos sean los valores introducidos, mayor precisión tendrá el resultado.

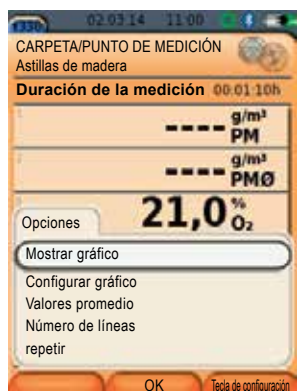


7. Opciones

En este capítulo le ofrecemos un breve resumen de las funciones adicionales que ofrece el testo 380 pero que no son necesarias para la medición.

El menú de opciones ofrece 5 opciones:

Mostrar gráfico: aquí se muestran gráficamente los diferentes parámetros y su evolución durante la duración de la medición hasta ahora.



Número de líneas: sirve para seleccionar el número de líneas visualizadas por pantalla y, con ello, también el tamaño de la fuente.

Repetir: si al principio la combustión no es muy estable o si se ha presionado demasiado pronto el botón "Inicio", mediante la opción "repetir" se pueden borrar los valores de medición actuales y la medición se reinicia a partir de este segundo.

Configurar gráfico: en este menú puede seleccionar los parámetros (hasta 4) que pueden mostrarse en la evolución gráfica.

Valores promedio: con esta opción de menú vuelve a la indicación de los valores de medición, aunque ya no serán los valores actuales sino los valores promedio desde el inicio de la medición.

8. Interpretación de los resultados finales

Cuando haya concluido la medición, aparece el resumen de resultados:

CLIENTE/PUNTO DE MEDICIÓN	
Astillas de madera	
Duración de la medición 01:10min	
0,1029	$\frac{g}{m^3}$ PM Ø
0,0473	$\frac{g}{m^3}$ PM U
0,0555	$\frac{g}{m^3}$ PM Ø U
4	ppm CO Ø
3	ppm CO U
0,0004	$\frac{g}{m^3}$ CO U
0,0027	$\frac{g}{m^3}$ CO Ø U
7,9	% O ₂ Ø

Cerrar

$\frac{g}{m^3}$ PM Ø = valor PM promedio en $\frac{g}{m^3}$ a lo largo de toda la medición

$\frac{g}{m^3}$ PM U = incertidumbre absoluta que se restará

$\frac{g}{m^3}$ PM Ø U = el valor PM válido (para valores oficiales en Alemania según la 1.ª BImSchV) después de restar la incertidumbre

ppm CO Ø = valor promedio de CO en ppm

$\frac{mg}{m^3}$ CO Ø = valor promedio de CO en $\frac{g}{m^3}$

$\frac{g}{m^3}$ CO U = incertidumbre absoluta que se restará

$\frac{g}{m^3}$ CO Ø U = el valor PM válido después de restar la incertidumbre correspondiente

% O₂ Ø = porcentaje de oxígeno (si este valor aumenta por encima del 20 %, dejarán de mostrarse valores calculados para el oxígeno de referencia, ya que estos valores no serán útiles)

°C TH = temperatura de los humos en °C

°C TA = temperatura del aire de combustión en °C (permitida solo con el sensor de temperatura externo (0600 9787) ya que con el sensor de temperatura interno el calor de la caja de partículas finas puede influir en el resultado). La información del aire de combustión solo tiene fines informativos. En Alemania, hasta el día de hoy (2014), el valor qA para instalaciones de combustibles sólidos no está regulado.

ppm NO = valor de NO medido en partes por millón (aparece solo si se emplea un sensor de NO)

% AF = humedad de gas de escape en porcentaje. La humedad del gas de escape se calcula a partir de los parámetros introducidos para los coeficientes. Cuanto más precisos sean estos valores, mayor precisión tendrá el resultado.

6. Instrumentos de medición para el análisis de combustión

Los requisitos de los instrumentos de medición portátiles para el análisis de gases de combustión suponen un reto para todos los fabricantes de instrumentos de medición. El entorno de medición severo y la realización de mediciones independientes de la red requieren el mayor know-how técnico posible y un diseño adaptado al cliente. Los instrumentos deben ser ligeros, manejables y sencillos de usar. La rápida disponibilidad de los valores de medición, así como un consumo de energía bajo y pocos mantenimientos son otras características con las que se puede aprobar la prueba de aptitud para instrumentos de análisis de combustión.

6.1 Los sensores

Los requisitos que deben cumplir los instrumentos de medición tienen un efecto directo en la elección de los sensores que determinan las concentraciones de gas. En la práctica son los sensores de gas electroquímicos los que se han establecido. La rápida disponibilidad de los valores de medición y el poco espacio que necesitan son unas ventajas excelentes de estos sensores. En el área de investigación y desarrollo se realizan continuamente esfuerzos para, por ejemplo, optimizar las vías de gas y el cálculo correcto de magnitudes transversales, así como para permitir que el usuario pueda reemplazar sin problemas los sensores de gas.

6.2 Funcionamiento de un sensor químico de dos/tres electrodos

Para determinar las concentraciones de gases tóxicos se emplean sensores de dos o tres electrodos. El funcionamiento de un sensor de tres electrodos se explica mediante el sensor de monóxido de carbono (CO). Un sensor típico de dos electrodos es el sensor de oxígeno (O₂).

6.2.1 Funcionamiento de un sensor químico de dos electrodos

En la figura 21 se explica el funcionamiento del sensor de oxígeno.

El funcionamiento de un sensor de oxígeno en puntos clave:

- Las moléculas de O_2 llegan al cátodo por el diafragma permeable al gas.
- Reacción química: se forman iones OH (iones = partículas cargadas)
- Los iones pasan por el líquido electrolítico al ánodo.
- Este movimiento de iones causa un flujo de corriente en el circuito eléctrico externo proporcional a la concentración de O_2 .

- Esto es, cuanto mayor sea la concentración, mayor será el flujo de corriente.
- Se mide y procesa electrónicamente la caída de tensión en la resistencia.
- La resistencia integrada con coeficiente de temperatura negativo compensa las influencias de temperatura y asegura el comportamiento estable de la temperatura.
- La vida útil de un sensor de oxígeno es de aprox. 3 años, en los sensores LongLife Testo de hasta 6 años.

Ecuaciones químicas

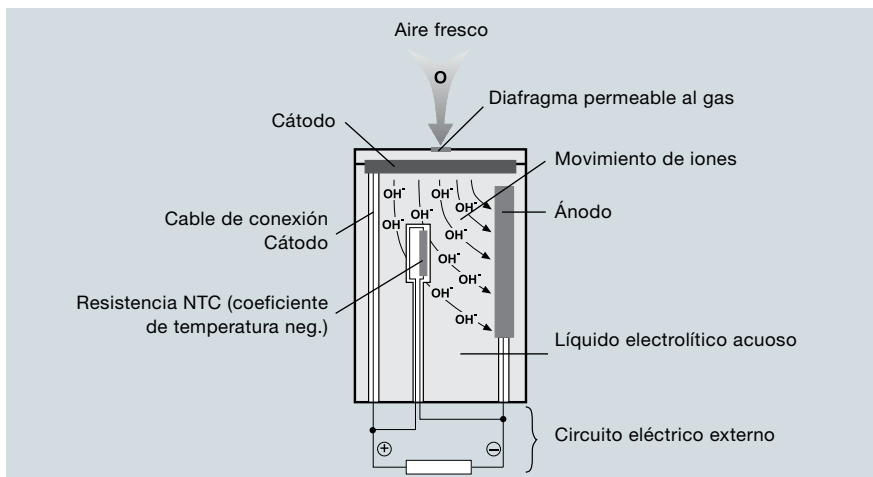
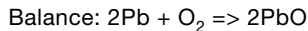
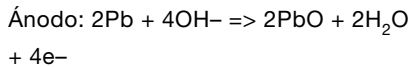
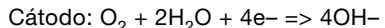


Fig. 21: Representación esquemática de un sensor de oxígeno

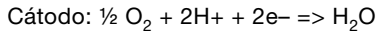
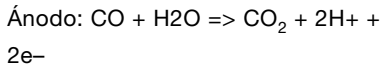
6.2.2 Funcionamiento de un sensor químico de tres electrodos para gases tóxicos

El funcionamiento de un sensor de tres electrodos en puntos clave (ejemplo de un sensor de CO):

- Las moléculas de CO llegan al electrodo de trabajo a través del diafragma.
- Reacción química: se crean iones H⁺.
- Los iones pasan a la contraplaca.
- Segunda reacción química con ayuda de O₂ del aire fresco: flujo de corriente en el circuito eléctrico externo.

- La referencia sirve para estabilizar la señal del sensor.
- La vida útil de un sensor de monóxido de carbono es de aprox. 2-3 años, en los sensores LongLife Testo de hasta 5-6 años.

Ecuaciones químicas:



i Los cambios frecuentes de temperatura y temperaturas bajas pueden acortar la vida útil de la célula de medición. Se recomienda un almacenamiento en un entorno seco.

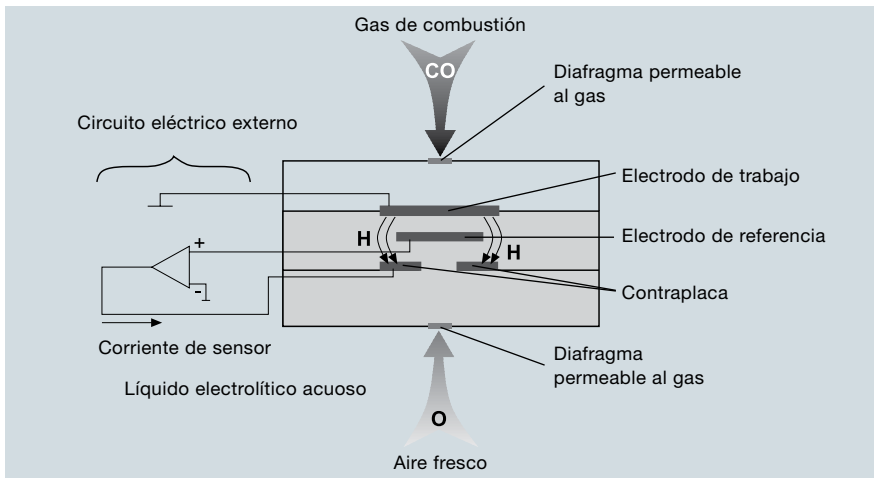


Fig. 22: Representación esquemática de un sensor de monóxido de carbono

6.3 Funcionamiento de un sensor semiconductor para gases combustibles

El sensor semiconductor sirve para medir gases combustibles como C_xH_y , H_2 y CO . Se emplea en la detección de fugas de gas. En la figura 23 se muestra de forma esquemática la estructura de un sensor HL.

El funcionamiento de un sensor semiconductor en puntos clave (ejemplo de uso en una sonda detectora de fugas de gas):

- El elemento de sensor se calienta a la temperatura de trabajo de $300\text{ }^\circ\text{C}$.
- Mediante una capa de dióxido de estaño se forma una resistencia elevada durante el calentamiento.

- Si en el aire del entorno del elemento sensor, esto es dentro del sensor, hay gases combustibles (C_xH_y , H_2 , CO), estos se unen a la capa de dióxido de estaño.
- Esto reduce la resistencia eléctrica.
- Se emite una alarma óptica o acústica.



El contacto con siliconas, disolventes, aceites y grasas puede producir sedimentos en la superficie del sensor y deberá evitarse.

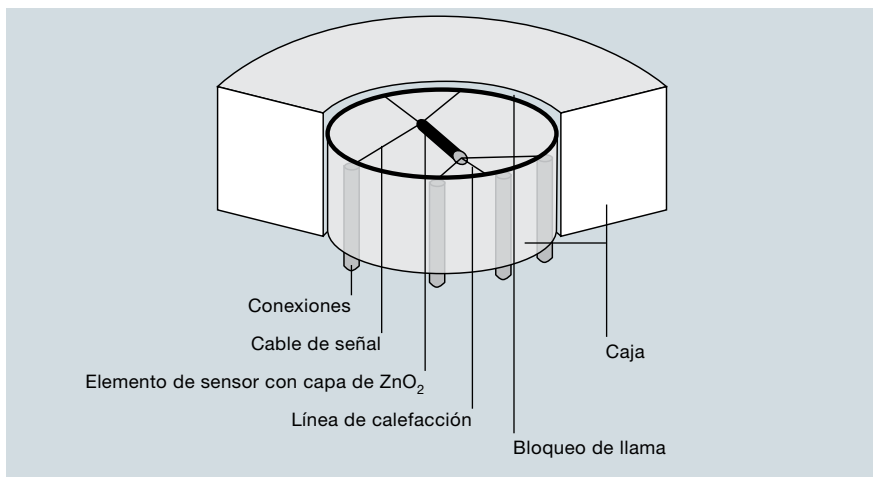


Fig. 23: Estructura de un sensor semiconductor

6.4 Sensor de partículas finas

El sensor de partículas finas es una combinación del principio de impactor y de cuarzo.

El cuarzo es la “báscula”, mientras que el impactor asegura que las partículas flotantes en la corriente del gas de medición lleguen a la “báscula”.

El impactor está compuesto de una tobera fina por la que fluye a velocidad elevada el gas de medición.

Frente a la salida de la tobera hay una placa de impacto, el cuarzo. Esta placa de impacto obliga al gas que sale a modificar violentamente el sentido.

Debido a la inercia de masa de las partículas, estas no pueden, sin embargo, cambiar completamente el sentido, por lo que colisionan con la placa de impacto y se quedan adheridas a la misma. Este proceso se denomina deconvolución.

En el testo 380 el pesado se realiza ya durante la fase de acumulación. La placa de impacto se coloca en una

oscilación inicial mediante un sistema electrónico especial.

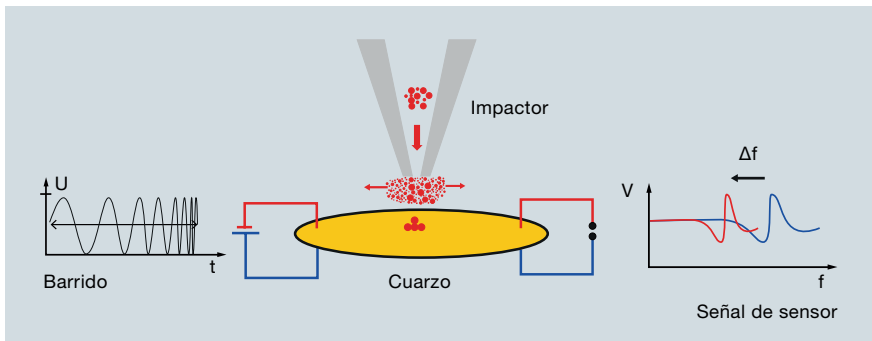
Cuando la placa se llena de partículas, su masa aumenta y la frecuencia de la señal del sensor se desplaza.

En esta variación de la frecuencia (Δf) se puede leer la masa de partículas adheridas.

Este proceso es un “proceso de medición online” gravimétrico. Esto significa que los valores de medición se obtienen en tiempo real y se pueden observar durante la medición. Además se puede evaluar y valorar directamente al final el resultado de la medición.

6.5 El sistema electrónico

La tendencia en I+D y producción es fabricar instrumentos de medición cada vez más pequeños. Solo con un diseño asistido por ordenador (CAE) y una fabricación mecanizada es posible establecer conexiones electrónicas en los espacios más



pequeños. Las placas se realizan con una técnica multicapas (multilayer) y se equipan con la tecnología de montaje superficial más moderna (SMD) con componentes electrónicos. Un ordenador de prueba (in-circuit-tester) comprueba y equipa las placas y determina de antemano los posibles errores. Las placas base erróneas pueden procesarse de forma económica e incluirse en el circuito de producción. Después de incorporar la placa y los sensores de medición de gas en la carcasa con estructura optimizada, se comprueba el funcionamiento de los instrumentos en un banco de pruebas computerizado y se ajustan con gas patrón. La certificación DIN ISO 9001 garantiza una calidad homogénea, redondeada por un Servicio de Atención al Cliente competente. Solo así es posible producir instrumentos de medición que cumplan los requisitos del análisis de los productos de la combustión.

6.6 La construcción

En la fabricación de instrumentos para el análisis de los productos de la combustión, el diseño de las vías de gas tiene una importancia fundamental. Debido a que las fugas afectan al resultado de la medición, las uniones de las vías de gas deben ser completamente estancas. Deben

evitarse los puntos en los que cae agua condensada, ya que esto daña los sensores. Los analizadores de combustión disponen por tanto de trampas de condensados que recogen el agua que se produce, protegiendo así el instrumento. La sonda de combustión con la bomba succiona el gas de combustión. El termopar integrado en la punta de la sonda sirve para medir la temperatura de los gases de combustión. Las trampas de condensados y los filtros incorporados “secan” esos gases y evitan que entren partículas de polvo y hollín. La prueba de gas pasa la bomba y se presiona a través de un tubo capilar (estrechamiento de la vía de gas) en una precámara, que amortigua los golpes de ariete creados por la bomba de membrana. El gas que va a medirse llega desde la precámara hasta los sensores de gas que, según el modelo, miden las concentraciones de O_2 , CO , NO , NO_2 y SO_2 . Para medir el tiro de la chimenea no se succiona gas de combustión. El gas producido por la combustión va directamente desde la sonda a través de una vía de gas propia, hasta el sensor de presión del instrumento. Allí se mide el tiro de la chimenea. La temperatura del aire de combustión se mide con un sensor de temperatura unido directamente al instrumento de medición.

7. Anexo

7.1 Fórmulas de cálculo

Pérdida de calor de la combustión: $q_A =$

$$\left[(TH - TA) \left[\frac{A2}{(21 - O_2)} + B \right] \right] - XK$$

TH: Temperatura de los humos

TA: Temperatura del aire de combustión

A2/B: Factores específicos al combustible (ver la tabla)

21: Contenido de oxígeno en el aire

O₂: Valor de O₂ medido (redondeado)

XK: Coeficiente que, al no llegar al punto de rocío, emite la pérdida de calor de la combustión q_A como valor negativo. Necesario para la medición en calderas de condensación. Si no se baja de la temperatura de punto de rocío, el valor XK = 0.

$$q_A = f \times \frac{(TH - TA)}{CO_2}$$

Fórmula de Siegert para calcular la pérdida de calor de la combustión. Se emplea cuando los factores específicos al combustible A2 y B (ver tabla) son igual a cero.

Tabla de los factores específicos al combustible

Combustible	A2	B	f	CO _{2max}
Gasóleo para calefacción	0.68	0.007	-	15.4
Gas natural	0.65	0.009	-	11.9
Gas licuado	0.63	0.008	-	13.9
coque, madera	-	-	0.74	20.0
Briquetas	-	-	0.75	19.3
Lignito	-	-	0.90	19.2
Hulla	-	-	0.60	18.5
Gas de coque	0.6	0.011	-	-
Gas ciudad	0.63	0.011	-	11.6
Gas de prueba	-	-	-	13.0

Cantidad de aire L:

$$L = \lambda \times L_{\min}$$

- L: cantidad de aire real
- λ : factor lambda
- L_{\min} : demanda de aire teórica requerida

Concentración de dióxido de carbono (CO₂):

$$CO_2 = \frac{CO_{2\max} \times (21 - O_2)}{21}$$

- $CO_{2\max}$: valor de CO₂ máximo específico del combustible

Facto lambda λ :

$$\lambda = \frac{CO_{2\max}}{CO_2} = 1 + \frac{O_2}{21 - O_2}$$

- $CO_{2\max}$: valor de CO₂ máximo específico del combustible
- CO_2 : Valor de CO₂ calculado en el gas de combustión
- O_2 : Valor de O₂ medido (redondeado)
- 21: Contenido de oxígeno en el aire

Concentración de monóxido de carbono no diluido o corregido (CO_{corr}):

$$CO_{\text{corr}} = CO \times \lambda$$

- CO: Valor de CO medido
- λ : Coeficiente de exceso de aire

Rendimiento de una instalación η :

$$\eta = 100 - qA$$

- qA: Pérdida de calor de la combustión

7.2 Presentación de los instrumentos Testo

Técnicas de medición para medio ambiente, clima e industria

“We measure it.” Este lema es al mismo tiempo nuestro eslogan y la clave del éxito de la empresa Testo AG con sede central en Lenzkirch, en la Selva Negra alemana. En la empresa de alta tecnología situada cerca de la ciudad de Friburgo, todo gira en torno a las técnicas de medición innovadoras. Ya sea con los modelos de cámaras termográficas, el sistema de monitorización testo Saveris o el moderno instrumento de medición de partículas finas testo 380, el especialista en técnicas de medición destaca por un elevado nivel de innovación y por su amplia gama de productos. Los instrumentos de medición Testo ayudan al cliente a ahorrar tiempo y materia prima, protegen el medio ambiente y la salud de las personas e incrementan la calidad de productos y servicios. Los instrumentos de alta tecnología se emplean por ejemplo en el almacenamiento y el transporte de mercancías sensibles del sector farmacéutico y de alimentos, en la producción y la garantía de calidad de la industria o en la supervisión de datos climáticos en el sector de generación de energía y el sector de la

construcción.

La clave del éxito está en unos empleados altamente cualificados y motivados, además de en la importante inversión de la empresa en el futuro. Testo AG invierte alrededor del 10 % de la facturación anual en Investigación y Desarrollo, asentando así su posición como líder mundial en el sector de técnicas de medición portátiles y estacionarias.

Testo in situ

En Alemania Testo dispone de seis Centros de Servicio que asesoran a los clientes y a las personas interesadas. A nivel mundial son 30 las filiales y 80 las representaciones comerciales que venden los instrumentos de medición de precisión fabricados en Lenzkirch y prestan servicio en países de los cinco continentes, entre ellos Argentina, Australia, Bélgica, Brasil, China, Francia, Gran Bretaña, Hong Kong, Italia, Japón, Corea, Países Bajos, Australia, Polonia, Suiza, España, República Checa, Turquía, Hungría y los EE. UU.

Instrumentos de medición de calidad probada

Más de 100.000 instrumentos de análisis de combustión Testo emplean nuestro clientes en todo el mundo. Los usuarios de los sectores industriales, la construcción y las autoridades oficiales confían con razón en los instrumentos de análisis de gases de combustión. También Testo confía plenamente en la calidad de los productos. Y esto se expresa en los plazos de garantía, que han sido ampliados considerablemente.

Servicio de Atención cualificado

Incluso transcurrido el plazo de garantía Testo sigue asistiendo a sus clientes. El Servicio de Atención a nivel mundial garantiza al usuario una ayuda rápida.

Certificado ISO 9001

Desde octubre de 1992 Testo posee el certificado de calidad ISO 9001, que volvió a ser confirmado en octubre de 1997. Gracias al consecuente sistema de garantía de calidad, el cliente obtiene productos de una calidad constante y estable. Una institución

independiente acreditada llevó a cabo la certificación: la Germanische Lloyd. La sociedad controla regularmente la aplicación de la norma ISO 9001 en Testo.

En las siguientes páginas le presentamos los instrumentos Testo para el sector de la técnica de medición de calefacciones.

El eficiente analizador de combustión testo 320

- Pantalla gráfica en color de alta resolución
- Rápida y sencilla navegación por los menús
- 500 posiciones de memoria para valores de medición
- Medición de O₂, CO, Ta, Th, tiro y presión, cálculo del COcorr, Ren, qA, CO₂....
- Verificado por el organismo alemán TÜV según la normativa EN 50379, parte 1-2 y parte 3 para CO



Analizador de combustión testo 330 LL

- Pantalla gráfica de color, gráficos y símbolos de fácil comprensión
- Menús de medición ampliados para análisis completos
- 500.000 posiciones de memoria para valores de medición
- Medición de O₂, CO, TA, TH, tiro, presión y NO opcional, cálculo del COcorr, Ren, qA, CO₂..., menús para pruebas de presión en tuberías de gas y medición mediante sondas externas del COamb, CO₂amb y fugas de gas.
- Larga vida útil del sensor de hasta 6 años, 4 años de garantía
- Comunicación USB, IrDA y Bluetooth opcional
- Verificado por el organismo alemán TÜV según la normativa EN 50379, parte 1-3



Analizador de combustión testo 340

- Hasta 4 sensores de gas (seleccionables entre O₂, CO, NO, NO₂ o SO₂)
- Dilución única en ranura 2 con factor 5 y opcionalmente dilución de todos los sensores con factor 2
- Medición de velocidad o caudal simultánea a los gases de combustión
- Verificado por el organismo alemán TÜV según la normativa EN 50379, parte 1-3





Analizador de combustión testo 350

- Hasta 6 sensores de gas (seleccionables entre O₂, CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, CxHy, CO₂IR)
- Pantalla gráfica de color (opciones de menú específicas de la aplicación) y prácticos preajustes del instrumento
- Unidad de control extraíble
- Ampliaciones del rango de medición con factores de dilución opcionales
- Tratamiento de gas Peltier integrado



Medidor de opacidad electrónico testo 308

- Medición del valor de opacidad según la escala de Bacharach, con tan solo apretar un botón
- Fácil impresión vía IR
- Comunicación con testo 320 y 330LL
- Interface IR/IRDA y opcionalmente Bluetooth
- Resolución de 1 decimal
- Aprobado TÜV



Sistema de medición de partículas finas testo 380

- En combinación con el testo 330-2 LL, la innovadora solución integral para instalaciones de combustibles sólidos, líquidos y gas
- Verificado por el organismo TÜV para los niveles de valores límite 1/2 y según la norma VDI 4206 hoja 2 de Alemania
- Medición paralela de partículas finas, O₂ y CO
- Representación gráfica de todos los valores de medición en tiempo real
- Inversión mínima en mantenimiento y reparaciones
- Fácil manejo y cómodo transporte
- Tecnología punta en forma de maletín: Medición de todos los valores necesarios con solo una sonda



Bomba de opacidad manual

- Incluye escala para medir la opacidad de los gases de la combustión.



Medidor en paralelo de CO/CO2 ambiente testo 315-3

- Aviso acústico y visual de concentraciones de CO o CO2 peligrosas en el aire
- Umbral de alarma ajustable
- Resultados de la medición transferibles al testo 330LL
- Fácil impresión vía IrDA o Bluetooth



Detector de fugas de gas electrónico testo 316-2

- Sonda maleable para los puntos de difícil acceso
- Alarma visual y acústica mediante indicador de barra en caso de concentraciones de gas peligrosas en aumento
- El indicador de seguimiento indica las fugas máximas
- Bomba integrada
- Conexión de auricular para localizar con seguridad la fuga en entornos ruidosos
- Amplia autonomía gracias a la batería recargable



Manómetro de presión diferencial testo 510

- Medición de presión diferencial de 0 a 100hPa
- Compensación de temperatura y densidad del aire
- 10 unidades seleccionables
- Visualizador iluminado



Manómetro para instaladores de gas y agua testo 312-3

- Pruebas de resistencia y de estanqueidad en conductos de gas
- Prueba de presión en conductos de agua
- Rango de medición seleccionable de gran precisión y resolución
- Visualización de alarma cuando no se alcanzan los valores límite de ajuste libre
- Pantalla clara con indicación de la hora



Medidor de humedad en maderas/materiales testo 606-2

- Medición precisa de humedad en maderas
- Sensor de humedad y temperatura integrados
- Incluye cálculo del punto de rocío y bulbo húmedo



Caudalímetro portátil testo

- Medición hasta 17 litros/ minuto
- Soporte para mini termómetro estanco
- Indispensable para calcular la potencia útil



Reservado el derecho a realizar modificaciones,
también de carácter técnico.



Instrumentos Testo, S.A.
Zona Industrial, C/ B, nº 2
08348 Cabriels (Barcelona)
Tel: 937 539 520
Fax: 937 539 526
E-Mail: info@testo.es

Síganos en:



www.testo.es