Emisiones y combustión

Revisá cómo se tomó la muestra y qué datos necesitás para comparar dos análisis de combustión.

Qué revisar cuando cambia una lectura de gases

Antes del ensayo, revisá el filtro de partículas, el estado de la línea de muestreo y el historial de calibración de la celda. Al comparar informes, verificá si muestran la concentración medida o un valor corregido a un oxígeno de referencia. Guardá el O_2 medido y la referencia usada para poder reconstruir el cálculo.

Fundamentos técnicos

Los elementos encontrados en los gases de combustión se listan a continuación en orden de importancia de sus concentraciones en los gases de combustión.

Nitrógeno (N2):El nitrógeno (N2) es el elemento principal en el aire que respiramos (79 % vol.). Este gas incoloro, inodoro e insípido, no toma parte en la combustión. Pasa por la instalación de combustión como inerte y se conduce, calentado, a la chimenea.

Valores típicos en los gases de combustión: Instalaciones de combustión de petróleo / gas: 78% - 80%

Anhídrido carbónico (CO2):El anhídrido carbónico es un gas incoloro e insípido con un ligero gusto ácido. Bajo el efecto de la luz del sol y el pigmento de las hojas verdes, la clorofila, las plantas convierten el anhídrido carbónico (CO2) a oxígeno (O2).

La respiración de las personas y animales vuelve a convertir el oxígeno (O2) en anhídrido carbónico (CO2). Esto sería un equilibrio, pero es perturbado por los gases de combustión.

Esta perturbación incrementa el efecto invernadero. La concentración máxima permitida de anhídrido carbónico (CO2) en el puesto de trabajo es de 5000 ppm.

Se produce inmediatamente la pérdida de consciencia tan pronto como la concentración en el aire inhalado supera el 15 % en volumen (150.000 ppm).

Valores típicos en los gases de combustión: Instalaciones de combustión de petróleo: 12,5% - 14%Instalaciones de combustión de gas: 8% - 11%

Vapor de agua (humedad):El hidrógeno contenido en el combustible se une con oxígeno para formar agua (H2O). Dependiendo de la temperatura de los gases de combustión (FT), luego aparece conjuntamente con el agua del combustible y el aire de la combustión o como humedad de los gases de combustión (a FT alta) o como condensado (a FT baja).

Oxígeno (O2):El resto del oxígeno no utilizado en el proceso de combustión si hay exceso de aire aparece como parte gaseosa de los gases de combustión y es una medida de la efectividad de la combustión. Se utiliza para calcular las pérdidas en los gases de combustión y el contenido en anhídrido carbónico.

Valores típicos en los gases de combustión: Instalaciones de combustión de petróleo: 2% - 5%

Instalaciones de combustión de gas: 2% - 6%

Monóxido de carbono (CO):El monóxido de carbono es un veneno respiratorio, incoloro e inodoro, y producto de la combustión incompleta. Si la concentración supera un nivel determinado, impide la absorción de oxígeno por la sangre. Si, por ejemplo, el aire inhalado en un recinto contiene 700 ppm de

CO, el que inhale el aire morirá en menos de 3 horas. La concentración máxima permitida de monóxido de carbono (CO) en el puesto de trabajo es 50 ppm.

Valores típicos en los gases de combustión:Instalaciones de combustión de petróleo: 80 ppm - 150 ppm Instalaciones de combustión de gas: 80 ppm - 100 ppm

Óxidos de nitrógeno (NOx):A temperaturas elevadas (combustión), el nitrógeno (N2) en el combustible y en el aire ambiente se une con el oxígeno del aire (O2) para formar óxido nítrico (NO). Después de un cierto tiempo, este gas incoloro se oxida combinándose con oxígeno (O2) para formar dióxido de nitrógeno (NO2). El NO2 es un veneno respiratorio soluble en agua que si se inhala produce graves daños a los pulmones y que combinado con la radiación ultravioleta (luz solar) contribuye a la formación de ozono. La suma de los componentes NO y NO2 se denomina óxidos de nitrógeno (NOx).

Valores típicos en los gases de combustión:Instalaciones de combustión de petróleo / gas: 50 ppm -100 ppm

Anhídrido sulfuroso (SO2):El anhídrido sulfuroso (SO2) es un gas incoloro y tóxico con un olor picante. Es producido por el azufre contenido en el combustible. La concentración máxima permitida en el lugar de trabajo es 5 ppm. En combinación con agua (H2O) o condensado, genera ácido sulfuroso (H2SO3).

Valor típico en los gases de combustión de las instalaciones de combustión de petróleo: 180 ppm -220 ppm

Sulfuro de hidrógeno (H2S):

El sulfuro de hidrógeno es un gas tóxico que huele mal incluso en concentraciones mínimas (aprox. 2,5 µm/m3). Es un componente que se encuentra naturalmente en el gas natural y el petróleo y por consiguiente está presente en refinerías e instalaciones de procesado de gas natural, pero también en tenerías, actividades agrícolas y, no de forma menos importante, tras la combustión incompleta en los convertidores catalíticos de vehículos.

Se usan diversos métodos para eliminar el H2S de los gases de combustión, incluida la combustión para formar SO2, determinados procesos de absorción o, para niveles más importantes, la conversión en azufre elemental en una instalación Claus.

Hidrocarburos inquemados (CxHy):Los hidrocarburos inquemados (CxHy) se producen en caso de combustión incompleta y contribuyen al efecto invernadero. Este grupo de sustancias incluye el metano (CH4), butano (C4H10) y benceno (C6H6).

Valor típico en los gases de combustión de instalaciones de combustión de petróleo: inferior a 50 ppm

Cianuro de hidrógeno (HCN):

El cianuro de hidrógeno (también conocido como ácido cianhídrico) es un líquido extremadamente venenoso con un punto de ebullición de 25,6°C; donde está presente, adopta la forma gaseosa en los gases de combustión. El HCN también puede encontrarse en instalaciones de incineración de residuos.

Amoníaco (NH3):

En los gases de combustión, el amoníaco juega un papel, conjuntamente con el proceso SCR, en la reducción de los óxidos de nitrógeno. Se añade a los gases de combustión en cantidades exactamente dosificadas en reactores de óxidos de nitrógeno y desencadena la conversión de los óxidos de nitrógeno en nitrógeno y agua. La parte no utilizada (pérdida de NH3) se reduce fuertemente mediante etapas de limpieza posteriores y está presente normalmente en los gases limpios a 2 mg/m3 o menos.

Haluros de hidrógeno:

Si se queman carbón y/o sustancias residuales, se producen los haluros de hidrógeno HCl y HF que, en combinación con la humedad, forman ácidos agresivos. Estas sustancias se lavan de los gases de combustión en gran medida, en las instalaciones limpiadoras de gases de combustión (lavadores).

Hollín:El hollín está compuesto, casi exclusivamente, por carbono (C) puro y se produce en caso de combustión incompleta.

Valor típico en los gases de combustión de instalaciones de combustión de petróleo: Índice de humo 0 o 1

Polvo:El polvo hace referencia a los materiales sólidos diminutos distribuidos en el aire, que pueden estar presentes en cualquier forma y densidad. El polvo se produce a partir de las cenizas y de los constituyentes minerales de los combustibles sólidos.

Unidad de medida

La concentración de los constituyentes del gas es un indicador de la presencia de contaminantes en los humos.Generalmente se utilizan las siguientes unidades:

ppm (partes por millón):Al igual que el "porcentaje (%)", la unidad ppm representa una relación. Porcentaje significa "un número determinado de partes por cada cien partes"; ppm significa "un número determinado de partes por millón de partes". Si, por ejemplo, una botella de gas contiene 250 ppm de monóxido de carbono (CO), esto significa que si se extraen de esta botella un millón de moléculas de gas, 250 de ellas serán moléculas de monóxido de carbono. El resto de las 999.750 moléculas son moléculas de dióxido de nitrógeno (N2) y de oxígeno (O2). La unidad ppm no depende de la presión ni de la temperatura y se utiliza para concentraciones más bajas. Si están presentes concentraciones mayores, éstas se especifican en porcentaje (%). Los porcentajes se convierten como sigue:

10.000 ppm = 1%

1.000 ppm = 0,1%

100 ppm = 0,01%

10 ppm = 0,001%

1 ppm = 0,0001%

Una concentración de oxígeno de 21% vol. correspondería a una concentración de 210.000 ppm de O2.

mg/Nm3 (miligramos por metro cúbico):Con la unidad mg/Nm3, se utiliza como variable de referencia el volumen normal (metros cúbicos normales, Nm3) y la masa del gas nocivo se especifica en miligramos (mg). Como esta unidad depende de la presión y de la temperatura, se utiliza como referencia el volumen en condiciones normales; estos se definen como sigue:

Temperatura: 0 °C

Presión: 1013 mbar (hPa)

No obstante, esta especificación sola no es definitoria ya que las proporciones en volumen en los gases de combustión cambian según el contenido de oxígeno (Dilución de los gases de combustión con el aire ambiente). Por consiguiente, las lecturas se deben convertir a un determinado volumen de oxígeno, el contenido de oxígeno de referencia (O2 de referencia). Solamente las especificaciones con el mismo oxígeno de referencia son comparables directamente. El contenido de oxígeno (O2) medido en los gases de combustión también se requiere para la conversión de ppm a mg/Nm3. Las conversiones para monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NOX) y anhídrido sulfuroso (SO2) se describen a continuación.

Los factores contenidos en las fórmulas corresponden a la densidad normal de los gases en mg/m³.

Conversión:

mg/kWh (miligramos por kilovatio hora de energía usada):Para determinar las concentraciones de gases nocivos en la unidad basada en la energía, mg/kWh, los cálculos se realizan usando datos específicos del combustible. Por consiguiente, hay factores de conversión diferentes dependiendo del combustible. Los factores de conversión para ppm y mg/m3 en la unidad basada en la energía, mg/kWh, se muestran

a continuación. No obstante, antes de la conversión a mg/kWh, las concentraciones de los valores de las emisiones medidas se deben convertir a gases de combustión sin diluir (0% de contenido de oxígeno de referencia).

En el caso de los combustibles sólidos, los factores de conversión también dependen de la forma en la que está presente el combustible (en forma de trozos, astillas, polvo, virutas, etc.).

Sondas para muestreo de gas

Testo ofrece tres categorías de sondas de muestreo según los usos:

Una sonda básica (sin calentar) con un sensor de temperatura integrado, para instalaciones de combustión de tamaño pequeño y mediano, con diámetros del conducto de gases de combustión hasta 300 mm y temperaturas de los gases de combustión hasta 1000°C;

Sondas de muestreo industriales (calentables) como sistema modular con diversas dimensiones y materiales para grandes instalaciones de combustión en centrales eléctricas y en procesos industriales, para temperaturas de los gases de combustión hasta 1800 °C, y

Una sonda multifuncional que permite mediciones a largo plazo a lo largo de varios días, gracias a funciones adicionales tales como la aplicación automática del gas de prueba, soplado cíclico para limpieza del trayecto del gas y mando a distancia.

La formación de condensados y por consiguiente el alcance para influir en las concentraciones de SO2 y NO2 también depende del tiempo disponible para una reacción.

Aquí tienen un efecto positivo las velocidades de flujo. Con esto en mente, testo ha abordado ahora un nuevo avance en el cual la manguera ya no se ha de calentar.

La manguera que conduce el gas tiene un diámetro pequeño, lo cual genera altas velocidades.

El material usado es PTFE, que es conocido por sus extremadamente bajas tasas de absorción.

La parte fundamental de cualquier analizador son los sensores o sistemas de sensores específicos de la sustancia. Su funcionamiento se basa en principios físicos o químicos tales como absorción, adsorción, transmisión, ionización, oxidación catalítica o propiedades paramagnéticas o electroquímicas. Los sensores reaccionan a un cambio en el parámetro con un cambio correspondiente en su propiedad (por ejemplo, mayor absorción de luz o reducción de la conductividad), a partir de lo cual se puede conformar la señal de medida.

Los principales grupos de sensores son:

Sensores para determinar la temperatura

Sensores para determinar la presión

Sensores para determinar el flujo volumétrico

Sensores para determinar las concentraciones de sustancias

Tipos de sensores utilizados por Testo:

Tipo 1: Sensor de oxígeno (sensor de dos electrodos)

Tipo 2: Sensores para CO, SO2 y NOx (sensor de tres electrodos)

Sensor de semiconductores

Variables medidas directamente

Índice de humo:

Para determinar el índice de humo, una determinada cantidad de gases de combustión se aspira a través de un papel de filtro mediante un determinado número de carreras de bombeo de un dispositivo similar a una bomba de bicicleta.La densidad de la mancha creada en el papel de filtro se compara

frente a una escala con varios tonos de gris numerados.El índice de humo (según Bacharach) así obtenido está entre 0 y 9. El índice de humo no se determina en los quemadores de gas.

Derivados del petróleo (residuos de petróleo):

Si la combustión es incompleta debido a atomización insuficiente, los hidrocarburos inquemados (CXHY) se recogen en el papel de filtro usado para la medición de los humos.Estos se pueden identificar por observación y verificar utilizando un disolvente (Acetona).

Temperatura del aire de combustión (AT):

La temperatura del aire de combustión se mide en la abertura de admisión del quemador.Para instalaciones de combustión que no dependen del aire ambiente, la temperatura se debe medir en un lugar apropiado en la tubería de suministro (Siempre que se pueda a la vez que la FT).

Temperatura de los gases de combustión (FT) en el centro del flujo:

La temperatura de los gases de combustión se mide en el centro del flujo de los gases de combustión (centro del flujo).La temperatura y la concentración de anhídrido carbónico (CO2) están aquí a su nivel más alto y el contenido de oxígeno (O2) está en el más bajo.

Fuerza ascensional / tiro de la chimenea:

Para las calderas de tiro natural, la fuerza ascensional o tiro de la chimenea es el requisito básico para impulsar los gases de combustión a través de la chimenea.Debido a la menor densidad de los gases de combustión calientes en comparación con el aire exterior más frío, se genera un vacío en la chimenea, que también se denomina tiro de la chimenea.Como consecuencia de este vacío, el aire de la combustión es aspirado, venciendo todas las resistencias de la caldera y del conducto de gases de combustión. En el caso de calderas presurizadas, las presiones en la chimenea no son importantes, ya que el ventilador del quemador genera la presión positiva necesaria para impulsar los gases de combustión.En estas calderas se puede usar un diámetro de chimenea menor.

Concentración de monóxido de carbono (CO):

La concentración de monóxido de carbono se mide en las instalaciones de gas atmosféricas utilizando una sonda multiorificio.La concentración de CO de los gases de combustión en estas instalaciones no es la misma en todas, y las líneas individuales pueden tener una concentración superior.Por consiguiente se usa una sonda multiorificio, que registra y mide la concentración de monóxido de carbono (CO) a través de todo el diámetro del conducto de los gases de combustión.Las lecturas de CO se convierten luego a gases de combustión sin diluir y se presentan como CO sin diluir (puCO).

Óxidos de nitrógeno (NOX):

Medir los óxidos de nitrógeno es una forma de comprobar las medidas relacionadas con la combustión para reducir las emisiones de óxido nítrico de las instalaciones de combustión.Los óxidos de nitrógeno (NOX) hacen referencia a la suma de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO2).La relación entre el NO y el NO2 siempre es la misma (97% NO, 3% NO2) en las calderas pequeñas (aparte de las calderas de condensación).Por esta razón, los óxidos de nitrógeno NOX se calculan normalmente después que se ha medido el óxido nítrico NO.Si se requieren mediciones precisas de los óxidos de nitrógeno (NOX), se deben medir las concentraciones de óxido nítrico (NO) y de dióxido de nitrógeno (NO2) por separado y sumarse.

Oxígeno (O2;):

El contenido de O2 se mide directamente en el centro del flujo de los gases de combustión. El sensor se pone a cero, generalmente, en el aire ambiente (21% de contenido de oxígeno). Las pérdidas en los gases de combustión, el CO2, el exceso de aire y el rendimiento, se calculan usando el contenido de O2.

Presión del flujo:

Para comprobar los calentadores a gas, se debe medir la presión del flujo del gas en la tubería de suministro y comprobarse el cumplimiento del valor prescrito por el fabricante. Esto se hace midiendo la presión diferencial. La medición de la presión diferencial también se requiere para ajustar la presión del chiclé en los calentadores a gas, lo cual, a su vez, ajusta la capacidad del dispositivo al calor necesario.

Variables calculadas

Pérdidas en los gases de combustión (qA):

Las pérdidas en los gases de combustión son la diferencia entre el contenido calorífico de los gases de combustión y el contenido calorífico del aire de la combustión, con relación al poder calorífico neto del combustible.

Es por consiguiente una medida del contenido calorífico de los gases de combustión derivado a través de la chimenea. Cuanto mayores son las pérdidas en los gases de combustión, más bajo es el rendimiento y por consiguiente la explotación de la energía y mayores son las emisiones de una instalación de calefacción.

Por esta razón, están limitadas las pérdidas permitidas en los gases de combustión de las instalaciones de combustión. Una vez que se ha determinado el contenido de oxígeno y la diferencia entre las temperaturas de los gases de combustión y del aire de combustión, las pérdidas en los gases de combustión se pueden calcular usando los factores específicos del combustible.

También se puede usar para el cálculo la concentración de anhídrido carbónico (CO2) en vez del contenido de oxígeno. La temperatura de los gases de combustión (FT) y el contenido de oxígeno o de anhídrido carbónico (CO2) se deben medir al mismo tiempo en un punto.

La AT también se debe medir al mismo tiempo.

Ajuste ideal para la instalación de calefacción:

Encontrar el ajuste ideal para la instalación de calefacción calculando las pérdidas en los gases de combustión merece la pena:

1% de pérdidas en los gases de combustión = 1% de consumo de combustible adicional o

Pérdidas de energía/año = pérdidas en los gases de combustión x consumo de combustible/año

Esto se puede ilustrar mediante el siguiente supuesto:

Pérdidas en los gases de combustión calculadas = 10%

Consumo de combustible/año = 3000 l de fueloil

Basándose en esto, las pérdidas energéticas corresponden a 300 l de petróleo de calefacción/año

Concentración de anhídrido carbónico (CO2):

La calidad (rendimiento) de la instalación de combustión se puede ver a partir del contenido en anhídrido carbónico de los gases de combustión.

Si está presente el contenido máximo posible de CO2 con el mínimo exceso de aire (combustión completa), entonces las pérdidas en los gases de combustión serán lo más bajas.

Para cada combustible hay un contenido de CO2 máximo posible (CO2 max) en los gases de combustión, que está determinado por la composición química del combustible. No obstante, este valor no se puede alcanzar en la práctica.

Valores máximos de CO2 para diversos combustibles:

- Fueloil ligero 15,4 % vol. CO2- Gas natural 11,8 % vol. CO2- Carbón 18,5 % vol. CO

Los valores de CO2 en los gases de combustión se calculan usando los valores máximos de CO2 y el contenido de oxígeno de los gases de combustión.

Exceso de aire:

El oxígeno necesario para la combustión se suministra a la instalación de calefacción mediante el aire de combustión. Para conseguir una combustión completa, es necesario suministrar más volumen de aire que el teóricamente necesario para la combustión.

La proporción del exceso de aire de combustión al aire teórico necesario se denomina exceso de aire y se simboliza Lambda.

El exceso de aire se determina basándose en la concentración de los componentes de los gases de combustión CO, CO2 y O2. Las correlaciones se muestran en lo que se denomina el diagrama de la combustión.

En la combustión, cada contenido de CO2 tiene un determinado contenido en CO (donde hay insuficiencia de aire Lambda < 1) o en O2 (donde hay exceso de aire Lambda > 1).

Si el valor del CO2 es superior a un límite máximo, no es un indicador claro por sí mismo, de modo que también se requiere una medición de CO u O2 adicional.

Para el funcionamiento con exceso de aire (lo normal), ya se prefiere, en general, la medición del O2. Hay un diagrama específico y un valor máximo de CO2 aparte para cada combustible.

Rendimiento:

El rendimiento de la combustión hace referencia al aporte de energía y, por consiguiente, al poder calorífico inferior neto Hl.

El rendimiento se obtiene tomando el 100% del poder calorífico inferior neto Hl y restando de éste las pérdidas en los gases de combustión en porcentaje.

El rendimiento se puede mejorar, y por consiguiente reducir las pérdidas en los gases de combustión, precalentando el aire de la combustión y el combustible.

Temperatura del punto de rocío:

El punto de rocío de un gas es la temperatura a la que la humedad contenida en el gas cambia del estado gaseoso al líquido. Esta transición se conoce como condensación y el líquido que produce se llama condensado.

La humedad aparece en estado líquido por debajo del punto de rocío y en estado gaseoso por encima del punto de rocío. Un ejemplo de esto es la formación y evaporación de la niebla o el rocío a medida que cambia la temperatura.

El contenido de humedad determina la temperatura del punto de rocío. El aire con un 30 % de contenido de humedad tiene un punto de rocío alrededor de 70 °C, mientras que el punto de rocío del aire seco con un contenido de humedad de solo el 5 % es aproximadamente 35 °C.

Grandes instalaciones de combustión

Procedimiento para la medición y evaluación de las emisiones de las instalaciones de combustión.

En refinerías de petróleo, en plantas petroquímicas y en plantas de obtención de lubricantes, se dispondrá de medidores en continuo de las emisiones de SO2, partículas y NOx en chimeneas o en los conductos de salida de humos que tengan conectados instalaciones de combustión cuyas potencias sumen más de 50 KW térmicos.

No obstante, lo dispuesto en el texto anterior, no será necesaria la medición continua en los siguientes casos:

Para las instalaciones de combustión con un período de vida inferior a 10.000 horas de actividad.

Para el SO2 y las partículas procedentes de calderas de gas natural o de turbinas de gas que utilicen gas natural.

Para el SO2 procedente de turbinas de gas o calderas de gasóleo con un contenido de azufre conocido, en los casos en que no se disponga de equipo de desulfuración.

Para el SO2 procedente de calderas alimentadas con biomasa si el titular puede demostrar que en ningún caso las emisiones de SO2 superarán los valores límite de emisión establecidos.

Cuando no sean necesarias las mediciones continuas, se exigirán mediciones discontinuas al menos cada seis meses. Como alternativa, podrán utilizarse procedimientos adecuados de determinación, que la administración competente deberá verificar y aprobar, para evaluar la cantidad de los contaminantes anteriormente mencionados presentes en las emisiones. Dichos procedimientos utilizarán las normas CEN pertinentes tan pronto como estas estén disponibles. En caso de no disponerse de normas CEN, se aplicarán las normas ISO u otras normas nacionales o internacionales que garanticen la obtención de datos de calidad científica equivalente.

Determinación del total anual de emisiones de las instalaciones de combustión:

A partir del año 2004 y para cada año posterior, la Administración General de Estado establecerá un inventario de las emisiones de SO2, NOx y partículas procedentes de todas las instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal igual o superior a 50 MW. Dentro de los dos primeros meses de cada año natural, el titular de la instalación informará a la misma de los datos siguientes relativos al año natural anterior:

Las emisiones totales anuales (en t/año) de SO2, NOx y partículas (como partículas en suspensión).

El consumo total anual de energía, en base al poder calorífico neto, clasificado de cinco categorías de combustible: biomasa, otros combustibles sólidos, combustibles líquidos, gas natural y otros gases.

Cada tres años, la Administración General del estado comunicará a la Comisión Europea un resumen de los resultados de este inventario, presentando por separado las emisiones de las refinerías.

A partir del 1 de enero de 2008, la Administración General del estado informará anualmente al la Comisión Europea de las instalaciones existentes declaradas aptas en virtud del apartado 4 del artículo 5, junto con el balance de las horas utilizadas y no utilizadas autorizadas para el resto de la vida operativa útil de las instalaciones.

La combustión tiene lugar en una caldera; otras partes de la instalación suministran y distribuyen el combustible, suministran el aire de combustión, transmiten el calor y retiran los gases de combustión y los residuos de la combustión (cenizas y carbonilla).

Los gases de combustión

Los gases de combustión de las instalaciones de combustión contienen los productos de la reacción entre el combustible y el aire de combustión, así como los residuos; estos productos están constituidos, principalmente, por polvo, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Si se quema carbón, los gases de combustión también pueden contener HCl y HF y si se queman residuos, los constituyentes de éstos (HCl y HF de nuevo, así como diversos hidrocarburos, metales pesados, etc.) se encontrarán en los gases de combustión.

Como parte de la reglamentación de protección medioambiental, los gases de combustión de las instalaciones de combustión están sujetos a una estricta reglamentación por lo que respecta a los límites permitidos de contaminantes tales como polvo, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono en los gases limpios (a su liberación a la atmósfera). Para cumplir con estos valores límite, las instalaciones de combustión están provistas de grandes instalaciones para limpiar los gases de combustión, tales como filtros de polvo y diversos lavadores de gases de combustión.

En España, los requisitos específicos están estipulados en los Reales Decretos 833/1975, 653/2003 y 430/2004.

Combustibles:

Pueden existir en diversas formas y composiciones:

Los combustibles sólidos (carbón, turba, madera, paja) que contienen principalmente carbono (C), hidrógeno (H2), oxígeno (O2) y pequeñas cantidades de azufre (S), nitrógeno (N2) y agua (H2O).

Los combustibles líquidos derivan del petróleo o del procesado de este; se clasifican en aceites combustibles muy ligeros, ligeros, medios y pesados.

Los combustibles gaseosos son una mezcla de gases inflamables (CO, H2 e hidrocarburos) y no inflamables. Ahora es muy frecuente utilizar gas natural, cuyo constituyente principal es el gas hidrógeno carburado, el metano (CH4).

Composición del combustible:

El conocimiento de la composición del combustible es esencial para gestionar la combustión lo más eficiente, y por consiguiente, económicamente posible. Incrementar la proporción de sustancias no inflamables (inertes) reduce el poder calorífico bruto / neto y aumenta la suciedad de las superficies de calefacción. Un mayor contenido de agua sube el punto de rocío del vapor de agua y consume energía del combustible para evaporar el agua en los gases de combustión. El azufre contenido en el combustible se convierte en SO2 y SO3 durante la combustión, lo que puede producir ácido sulfuroso o ácido sulfúrico agresivos cuando el gas se enfría por debajo del punto de rocío.

Los combustibles sólidos se queman o en un lecho fijo, en un lecho fluidizado o en una nube de cenizas volantes.

Los combustibles líquidos se aportan a la caldera como una niebla por medio de un quemador, junto con el aire de combustión.

Los combustibles gaseosos se mezclan con el aire de combustión mientras aún están en el quemador.

Aire de combustión:

El aire de combustión proporciona el oxígeno necesario para la combustión. Está compuesto por nitrógeno (N2), oxígeno (O2), bajos volúmenes de gases inertes y una parte variable de vapor de agua. En algunos casos, se utiliza para la combustión oxígeno puro o una mezcla de oxígeno y aire. Los principales constituyentes del aire de combustión (con la excepción del oxígeno, que se consume durante la combustión) se encuentran en los gases de combustión.

Combustión ideal, coeficiente de exceso de aire, balance de materiales:

Combustión ideal, coeficiente de exceso de aire, balance de materiales. La necesidad mínima de oxígeno para la combustión completa (ideal) de las partes inflamables depende de la composición del combustible.1 kg de carbono, por ejemplo, necesita 2,67 kg de oxígeno para quemarse, mientras que 1 kg de hidrógeno necesita 8 kg y 1 kg de azufre sólo 1 kg de oxígeno. En este caso, la combustión cuando las proporciones de las cantidades son exactas se denomina combustión ideal o combustión en condiciones estequiométricas.

Las ecuaciones de reacción correspondientes son como sigue:

Carbono: C + O2 ----> CO2

Hidrógeno: 2H2 + O2 ----> 2H2O

Azufre: S + O2 ----> SO2

Composición del aire puro y seco en la superficie terrestre:

Modelo de una combustión ideal:

La cantidad de oxígeno suministrado es suficiente para quemar totalmente el combustible presente; no hay exceso de oxígeno ni de combustible.

Modelo de la combustión con exceso de aire:

En la práctica, sin embargo, esta cantidad ideal (mínima) de oxígeno no es suficiente para una combustión completa debido a la mezcla incompleta del combustible y el oxígeno, entre otras cosas, y se debe aportar más oxígeno y por consiguiente más aire de combustión de lo que es estequiométricamente necesario. Esta cantidad adicional de aire se conoce como "exceso de aire", la proporción entre la cantidad de aire real y la estequiométricamente necesaria se conoce como coeficiente de exceso de aire (Lambda).

Rendimiento de la combustión

El rendimiento de la combustión máximo se consigue donde hay un exceso de aire u oxígeno mínimo, es decir, donde l > 1 (atmósfera oxidante).

Un exceso de aire innecesariamente alto reduce la temperatura de combustión y aumenta la cantidad de energía sin utilizar disipada a través del mayor volumen de gases de combustión.

Si la cantidad de exceso de aire escogida es muy pequeña, además de un bajo rendimiento de utilización del combustible, esto incrementará el impacto medioambiental nocivo de los residuos inquemados en los gases de combustión.

Atmósfera oxidante:

Aquí hay mayor presencia de oxígeno de la que es necesaria para oxidar las sustancias oxidables en el combustible. Por consiguiente, es posible la oxidación (combustión) completa.En términos sencillos: Oxidación = adición de oxígeno (el CO se oxida para formar CO2)

Atmósfera reductora:

En este caso hay muy poco oxígeno para oxidar todas las sustancias oxidables. Se produce lo contrario de una oxidación: una reducción.En términos sencillos: Reducción = eliminación de oxígeno (el SO2 se reduce a S).

Determinación del coeficiente de exceso de aire:

El coeficiente de exceso de aire se puede determinar a partir de las concentraciones de los componentes de los gases de combustión CO, CO2 y O2; las correlaciones se muestran en lo que se denomina el diagrama de combustión. Si el combustible y el aire se mezclan lo más perfectamente posible, hay un determinado contenido de CO (en el rango Lambda < 1) o un determinado contenido de O2 (en el rango Lambda > 1) para cada contenido de CO2. El valor de CO2 por sí solo no es claro debido a que el perfil de la curva va más allá del máximo, lo que significa que se requiere un ensayo adicional para establecer si el gas también contiene CO u O2 además del CO2. Para trabajar con exceso de aire (es decir, las condiciones normales), se prefiere ahora, en general, una medición de O2. Los perfiles de la curva son específicos del combustible, es decir, hay un diagrama individual y en particular un valor máximo específico de CO2 para cada combustible. Las relaciones entre estos numerosos diagramas se resumen frecuentemente en la práctica en forma de un ábaco ("triángulo de colores", no mostrado aquí).Este se puede aplicar a cualquier tipo de combustible.

Fórmulas para determinar el coeficiente de exceso de aire:

Las dos fórmulas que siguen se aplican aproximadamente al cálculo teórico del coeficiente de exceso de aire a partir de las lecturas de CO2 o de O2:

Rangos típicos del coeficiente de exceso de aire:

La tabla que sigue da los intervalos típicos del coeficiente de exceso de aire para determinadas instalaciones de combustión. En principio: cuanto menor es la superficie de reacción del combustible en relación con la unidad de masa (combustible de grano grueso), mayor es la cantidad de exceso de aire que se debe escoger para garantizar la combustión completa. Lo contrario también es cierto, y por esta razón los combustibles sólidos se muelen finamente y los combustibles líquidos se atomizan. Sin embargo, procesos especiales tales como el tratamiento térmico superficial se completan

deliberadamente donde hay falta de aire, Lambda < 1, ya que esto es necesario para garantizar el proceso deseado.

Las necesidades reales de aire se calculan:

a partir de las necesidades mínimas de oxígeno para la combustión ideal (este depende del combustible),

el exceso de oxígeno deseado y

la proporción relativa de oxígeno en el aire.

Para el aire seco a la presión atmosférica este es 20,95%. En la práctica, sin embargo, el aire ambiente que se usa como aire de combustión nunca está totalmente seco, lo que significa que la humedad relativa también ha de tenerse en cuenta para el cálculo de la cantidad de aire, para garantizar un proceso exacto.

Volumen de gas, efecto de dilución, valor de referencia:

El aire de combustión y la humedad (vapor de agua) aumentan el volumen absoluto del gas. El gráfico que sigue ilustra este fenómeno para la combustión de 1 kg de combustible. En condiciones estequiométricas, es decir, sin exceso de aire, ésta produce aproximadamente 10 m3 de gases de combustión secos y 11,2 m3 húmedos, mientras que la misma cantidad de combustible, cuando se quema con un 25% de exceso de aire, produce un volumen de gases de combustión de 13,9 m3 húmedos. Esto tiene el mismo efecto que una dilución, ¡lo que reduce las proporciones relativas de los constituyentes de los gases de combustión! Por ejemplo, el contenido totalmente constante de SO2 baja en términos relativos desde un 0,2% (estequiométrico, seco) a un 0,18% (estequiométrico, húmedo) o 0,14% (25% de exceso de aire, húmedo), el contenido de oxígeno baja del 4,4% al 4%.

Véase también la tabla sobre el "Efecto sobre la combustión del contenido en humedad y el exceso de aire"

Composición relativa:

Efecto de dilución del contenido en humedad y del exceso de aire:

Diagrama de combustión:

A partir de los hechos resumidos anteriormente, se puede concluir que las evaluaciones de las concentraciones solamente se pueden hacer, en general, en conjunción con valores de referencia. Solamente entonces tienen sentido las lecturas y se pueden comparar frente a otras mediciones y, sobre todo, ¡frente a los requisitos reglamentarios! En la práctica, se utiliza lo siguiente:

Con relación a una cierta dilución por el exceso de aire; el contenido de oxígeno es una medida de esto, y esta referencia se expresa por ejemplo como "valor de referencia 8% de oxígeno".Un punto de referencia próximo al contenido de oxígeno que se produce cuando la instalación se hace funcionar en las condiciones estándar de la misma.Con relación a una cierta dilución por el contenido de humedad del gas; la temperatura del gas es una medida de esto, y esta referencia se expresa por ejemplo como "referencia a gases de combustión secos" o "a punto de rocío de 4°C".Con relación a las condiciones normales de un gas. Esto se refiere a la dependencia del volumen de un gas de los valores de presión y temperatura actuales.

Poder calorífico bruto, poder calorífico neto, rendimiento

Poder calorífico bruto, poder calorífico neto

El poder calorífico bruto (anteriormente denominado como potencia calorífica neta superior) es un valor característico del combustible y describe la energía liberada durante la combustión completa en relación con la cantidad de combustible aportada. El poder calorífico neto (anteriormente denominado como potencia calorífica neta inferior) es, por otra parte, la energía liberada menos el calor de evaporación del vapor de agua generado durante la combustión a 25°C, nuevamente en relación con la cantidad de

combustible aportada. El poder calorífico neto es en general, inferior al poder de combustión.

Rendimiento de la combustión

El rendimiento es una variable que se determina mientras la instalación está funcionando de forma constante, a partir de los valores de potencia. El rendimiento (siempre es inferior al 100%) es la relación entre la energía total suministrada desde la cámara de combustión y la energía necesaria o utilizada para completar el proceso (calentamiento, fusión, sinterizado, etc.). El rendimiento incluye varias partes:

El rendimiento de la combustión describe la parte de la potencia total suministrada (energía por unidad de tiempo) que está disponible en la cámara de combustión para usarse después de la combustión. Es por consiguiente una variable importante de la calidad de la combustión.

El rendimiento de la caldera, en gran medida función de su diseño, describe la calidad de la caldera y de su funcionamiento basándose en la relación entre la energía suministrada y la energía disponible en la caldera.

El rendimiento total se obtiene multiplicando los rendimientos de combustión y de la caldera

Calderas de condensación

Las calderas de condensación son calderas de calefacción que, además del calor de evaporación, también hacen uso del calor de condensación de los gases de combustión generados re enfriando el gas a la temperatura apropiada. En términos de poder calorífico neto, estas calderas pueden conseguir un rendimiento de combustión del 107%. Sin embargo, el condensado cargado de contaminantes así generado se debe eliminar de forma medioambientalmente segura.

Balance energético

En el modo de funcionamiento estacionario, la suma de todas las energías suministradas a la instalación debe ser igual a la suma de las energías emitidas por la instalación; véase la tabla que sigue.

Contribuciones para mantener el balance energético

La parte principal de la pérdida son las pérdidas en los gases de combustión. Es función de la diferencia entre la temperatura de los gases de combustión y la temperatura del aire de combustión, de la concentración de O2 o CO2 en los gases de combustión y de factores específicos del combustible. En las calderas de condensación (véase anteriormente), estas pérdidas en los gases de combustión se reducen de dos formas, haciendo uso del calor de condensación y mediante la menor temperatura de los gases de combustión resultante. Las pérdidas en los gases de combustión se pueden calcular usando las siguientes fórmulas:

FT: Temperatura de los gases de combustiónAT: Temperatura del aire de combustiónA2, B: Factores específicos del combustible21: Contenido de oxígeno del aireO2: Concentración de O2 medidaKK: Variable que presenta la variable qA como valor negativo si no se alcanza el punto de rocío. Necesario para mediciones en calderas de condensación.

Para los combustibles sólidos, los factores A2 y B son iguales a cero. La fórmula se simplifica luego usando el factor f para obtener lo que se denomina como la fórmula de Siegert.

Los factores específicos del combustible usados en las fórmulas se indican a continuación.

Punto de rocío, condensados

Punto de rocío

El punto de rocío o temperatura del punto de rocío de un gas, se entiende que significa la temperatura a la que la humedad contenida en el gas cambia del estado gaseoso al estado líquido; véase el diagrama que sigue. Esta transición se conoce como condensación, el líquido que se produce, condensado. La humedad aparece en estado líquido por debajo del punto de rocío y en estado gaseoso por encima del

punto de rocío; un ejemplo de esto es la formación y evaporación de la niebla o el rocío, a medida que cambia la temperatura. El contenido de humedad determina la temperatura del punto de rocío. El aire con un 30% de contenido de humedad tiene un punto de rocío de alrededor de 70°C, mientras que el punto de rocío del aire seco con un contenido de humedad de sólo el 5% es aproximadamente 35°C.

Contenido de vapor de agua como función del punto de rocío

Nota sobre el contenido de vapor de agua

Si se mide con un instrumento sin preparación del gas, la temperatura del punto de rocío del gas corresponde en su mayor parte a la temperatura ambiente, es decir, 25°C, por ejemplo. Si estas mediciones se comparan luego con los valores medidos con preparación del gas, es decir, la temperatura del punto de rocío de 5 °C, por ejemplo, las diferencias resultantes en las lecturas debidas al diferente contenido de humedad ¡son aproximadamente del 3%!

Cifras de concentración

El término "concentración" describe la parte de una sustancia en el total de una mezcla sólida, gaseosa o liquida, ej., alcohol en la cerveza o el oxígeno en el aire. Se utilizan diversas mediciones para especificar una concentración, tales como:

Concentración en peso (con referencia a la masa de la sustancia) con la dimensión [g de sustancia / m3 de volumen de gas]

Concentración en volumen (con referencia al volumen de la sustancia) con la dimensión [cm3 de sustancia / m3 de volumen de gas]

Concentración de partículas (con referencia al número de partículas de la sustancia) con la dimensión [número de partículas de sustancia / número total de partículas]

En la tecnología de emisiones e inmisiones, las unidades de concentración en peso y concentración de partículas se superponen. La unidad de masa usada en este caso es el gramo, o sus fracciones, mientras que el término ppm (partes por millón) es corriente para la concentración de partículas. Las fracciones de estas unidades se usan dependiendo de la concentración.

Por consiguiente, una cantidad de contaminantes se especifica así:

En g (o mg, µg, etc.) con referencia a un volumen de gas determinado, generalmente un metro cúbico (m3), ej., 200 mg/m3

En ppm sin ninguna referencia, ej., 140 ppm

Unidad de masa (g) con fracciones

Concentración de partículas ppm y % con fracciones

Nota sobre la concentración en peso

Debido a la dependencia general del volumen de un gas con su temperatura y su presión, también es necesario, para la certeza de una lectura cuando se usa la concentración en peso:

Especificar los valores reales de presión y temperatura del gas aplicables en el momento de la medición o

Convertir las lecturas reales a las que se consideran condiciones normales, véase el capítulo siguiente.

Después de esta clase de conversión, se indica luego el volumen en metros cúbicos normales (descritos como Nm3 o m3N).

Condiciones normales; volumen normal de un gas (VN)

El volumen de un gas depende de su temperatura y de la presión a la que esté.

Para comparar, se definió el volumen normal:Un gas tiene su volumen normal si su temperatura y

presión son idénticas a los valores definidos en las condiciones normales de 273 K (que corresponden a 0°C) y 1013 mbar (hPa).

Conversión de cifras de concentración

Conversión a condiciones normales

Una lectura real se convierte a condiciones normales usando la fórmula:

c2 = c1 * ((T1 * p2) / (T2 * p1))

Nota sobre la fórmula anterior:

Las variables usadas en la fórmula significan lo siguiente:

Condición 1: Condición de medición T1:

Temperatura del gas a la medición (273 + temperatura real en °C)

p1: Presión de gas a la medición en hPa

c1: Concentración medida

Condición 2: Condición normal T2: Temperatura normal (= 273 K)

p2: Presión normal (= 1013 hPa)

c2: Concentración convertida a condiciones normales

Ejemplo: 200 mg/m3 a 35°C y 920 hPa producen 248,4 mg/Nm3 en condiciones normales después de la conversión

Concentración volumen/volumen (%v/v; ppm):

Una forma habitual de expresar la concentración de los gases es el valor volumen/volumen porcentual. Es decir:

Concentración porcentual de gas "X" (% vol/vol) = 100 * Volumen del gas contaminante "X" / volumen del gas total

Otra forma de expresar ese mismo valor de una forma más conveniente cuando ese valor de concentración es muy pequeño es pasarlo a ppm (abreviatura de partes por millón).

Conc. en partes por millón de gas "X" (ppm vol/vol) = 1000000 * Volumen del gas contaminante "X" / volumen del gas total

En otras palabras:

1% = 10000 ppm

Ejemplo:

En una chimenea a la salida de un proceso de combustión se tienen 15 cm3 de CO por cada 1000000 de cm3 de gas de combustión.

En tanto por uno: 15 cm3 /1000000 cm3 = 0,000015 de CO

En valor porcentual sería: 100 * 0,000015 de CO = 0,0015% de CO

En ppm (partes por millón), se observa que son "15 partes por millón" directamente en el enunciado. De la misma forma se obtendría multiplicando por un millón el valor en tanto por uno, es decir:

1000000 * 0,000015 de CO = 15 ppm de CO

Obsérvese que, al expresar ambos volúmenes en la misma unidad, éstas se simplifican. El "%" y las "ppm" no son unidades físicas. Entonces la expresión de una concentración "volumen sobre volumen" es adimensional. La concentración masa/volumen, en cambio, sí tiene unidades.

Concentraciones volumen/volumen en base seca y en base húmeda:

Los analizadores de gases de combustión que poseen celdas electroquímicas para sensar los gases necesitan secar el gas de combustión antes de secarlo. Es decir, se remueve el vapor de agua del gas de combustión y ese vapor de agua retirado debe ser restado del volumen total de gas. Por lo tanto, en las concentraciones v/v vistas anteriormente, cuando se divide por "volumen total del gas", en realidad se divide por el "volumen total de gas seco" , por lo tanto, la concentración está expresada en "base seca".

Si el método de medición no requiriese el secado del gas, se expresaría considerando el vapor de H2O en el volumen total. Es decir, en "base húmeda".

Ambas formas son correctas y siempre debe aclararse en qué base están expresadas las concentraciones. Los valores numéricos son distintos: al restarse el vapor de agua, el denominador es menor y por lo tanto la concentración en base seca es mayor que la misma concentración pero en base húmeda.

Reescribiendo las fórmulas anteriores con más detalle:

Concentración porcentual de gas "X" (% vol/vol) en base húmeda = 100 * Volumen del gas contaminante "X" / volumen del gas total húmedo:

Cx (% vol/vol) base húmeda = 100 * Vol "X" / VGas-Húmedo (1)

Concentración porcentual de gas "X" (% vol/vol) en base seca= 100 * Volumen del gas contaminante "X" / volumen del gas total seco:

Cx (% vol/vol) base seca = 100 * Vol "X" / VGas-Seco

Como el volumen del gas seco es el volumen total húmedo sustrayendo el vapor de agua:

VGas-Seco= VGas-Húmedo - VH2O

Y de forma análoga

VGas-Húmedo = VGas-Seco + VH2O

Considerando esto, podemos pasar de base seca a base húmeda y viceversa si conocemos el valor del volumen o concentración de vapor de agua en el gas:

Cx (% vol/vol) base seca = Cx (% vol/vol base húmeda) / [100% - H2O% (v/v base húmeda)]

Cx (% vol/vol) base húmeda = Cx (% vol/vol) base seca * [100% - H2O% (v/v base húmeda)]

El valor de H2O% puede obtenerse analizando una muestra del gas por método gravimétrico o volumétrico (el equivalente en vapor de la cantidad de condensado obtenido a partir del secado de un volumen conocido de gas de combustión).

Secar un gas implica bajar la temperatura del mismo por debajo de su punto de rocío, para que condense todo el vapor de agua y pueda ser removido.

Ejemplo:

Se mide a la salida de un proceso el gas de combustión con un analizador portátil de gases de combustión que trabaja en base seca. El analizador muestra en pantalla un valor de O2% = 3,5%. Mediante otro método, se seca 1 m3 de ese gas de combustión (incluyendo el vapor de agua) y se determina que en ese metro cúbico había inicialmente 0,2 m3 de vapor de H2O.

Si se midiese con una sonda de O2 que trabaja en base húmeda (por ejemplo, una sonda de dióxido de circonio como la sonda lambda de los vehículos), ¿cuál sería el valor obtenido?

Respuesta:

O2 (% vol/vol) base húmeda = O2 (% vol/vol) base seca * [100% - H2O% (v/v base húmeda)]

H2O% base húmeda = 100 * 0,2 m3 de H2O / 1 m3 de gas húmedo = 20% v/v base húmeda

Entonces:

O2 (% vol/vol) base húmeda = 3,5% * [100% - 20%] = 2,8%

Un valor de 3,5% en base seca equivale a un 2,8% en base húmeda considerando que el contenido de vapor de agua del gas es del 20%.

Conversión de ppm a concentración masa/volumen:

Una especificación en [ppm] se puede convertir a la unidad de concentración en masa/volumen [mg/Nm3] (miligramos sobre metro cúbico normalizado) correspondiente, usando la densidad normal del gas en cuestión como factor para las fórmulas mostradas a continuación. La "dilución" de los gases de combustión por el aire (del exceso de aire y donde sea necesario por aportes de aire adicionales o por las posibles fugas en la instalación), de la cual la concentración de oxígeno es una medida, también se debe tener en cuenta. Por consiguiente, las lecturas deben ser convertidas, en general, a una determinada concentración de oxígeno (llamada "O2 de referencia"). Por esta razón, los valores de referencia de oxígeno correspondientes también se especifican siempre en los requisitos oficiales junto con los contaminantes.

Además, la concentración real de oxígeno medida, que es una medida de la dilución real, también es necesaria para la conversión (O2 en el denominador de la fórmula).

Fórmulas de conversión para los gases CO, NOx y SO2:

Nota sobre las fórmulas de conversión:

El factor numérico (1,25 etc.) usado en las fórmulas corresponde a la densidad normal del gas respectivo en Kg/m3. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

Valores de densidad normal de 2,86 - 2,93 kg/m3 se especifican para el SO2 en la literatura (diferencia entre el comportamiento ideal y real del gas SO2).

La densidad normal del NO2 de 2,05 se usa para el NOx, ya que el NO2 es el único compuesto estable (el NO se une al oxígeno con mucha rapidez después de su formación para convertirse en NO2).

El factor 1,52 se debe usar para el H2S con el resto de la fórmula sin modificar.

Si la conversión se ha de realizar sin referencia al contenido de oxígeno, la fórmula se simplifica omitiendo el cociente, quedando para el CO:

$CO[mg/m^3] = CO[ppm] \times 1,25 [Kg/m^3]$

Esto aplica igualmente a los demás gases.

Conversión de ppm a unidades relacionadas con la energíaPara representar la concentración de contaminantes en las dos unidades relacionadas con la energía, g/GJ y mg/kWh (1 kWh = 3,6 MJ), se requieren conversiones usando factores específicos del combustible (FF); consultar las fórmulas que siguen y la tabla para el factor FF.

Fórmula para la conversión de ppm a g/GJ:

Teniendo en cuenta que 1kWh =3,6 MJ, entonces

1 g/GJ = 1000 mg / 1000MJ = 1000 mg/ (3,6x1000MJ) = 3,6 mg/kWh

1 g/GJ=3,6 mg/kWh, por lo tanto, multiplicamos cada una de las fórmulas anteriores por un factor de 3,6.

Tuberías calentadas, enfriadores

Los gases de combustión con un 8% humedad, por ejemplo, tienen un punto de rocío de alrededor de 40°C, lo que significa que se forma condensado por debajo de esta temperatura.Esto tiene dos

consecuencias importantes para la instalación en su conjunto, así como para la tecnología de medición:

Consecuencia 1:

Si los gases de combustión contienen óxidos de azufre, estos se unen con el vapor de agua condensante a temperaturas inferiores a 40 °C (en las tuberías sin calentar, por ejemplo) para formar ácido sulfuroso (H_2SO_3) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) que son, ambos, productos altamente corrosivos y pueden provocar considerables daños en aquellas partes de la instalación con las que entren en contacto. Por esta razón, la temperatura de los gases de combustión en la instalación se mantiene por encima del punto de rocío (es decir, superior a 40°C en el caso del ejemplo anterior) hasta que los gases de combustión llegan al lavador. Lo mismo aplica a aquellas partes de los instrumentos de medición a través de los cuales fluyen los gases de combustión y sobre todo a las piezas del dispositivo de muestreo, tales como sondas y mangueras. Por esta razón, se utilizan sondas y tuberías de medición del gas calentadas y su temperatura se mantiene por encima del punto de rocío del gas. ¡No hacerlo dará lugar al deterioro de los instrumentos de medición y a mediciones incorrectas!

Consecuencia 2:

Otra alternativa para evitar la formación de condensado es ofrecida por el método recientemente desarrollado y patentado por testo que consiste en una elevada velocidad de flujo del gas combinada con una superficie con un revestimiento especial en las tuberías de medición del gas. El resultado es que ya no es necesario calentar las tuberías, lo cual tiene mucha importancia en los dispositivos portátiles, a la vista de la reducción del consumo de potencia resultante. El vapor de agua está ausente de los gases de combustión gases enfriados en mayor o menor medida, dependiendo de la temperatura a la que se enfríe el gas, con el resultado de que los demás componentes del gas, tales como el CO, que no han cambiado cuantitativamente, forman una parte relativamente elevada de los gases de combustión; ¡Las lecturas correspondientes son, pues, más altas que en los gases de combustión húmedos! Para lecturas comparables, el gas a medir respectivo debe, por consiguiente, tener las mismas temperaturas y por consiguiente el mismo contenido de humedad.

En consecuencia, los enfriadores del gas a medir (también podrían llamarse secadores del gas a medir) se usan en el análisis de gases antes del analizador; estos llevan el gas a una temperatura definida y por consiguiente un nivel definido de secado y lo mantienen allí.

Nota:

Enfriar el gas significa secar el gas.

En el gas seco, las lecturas de los componentes del gas son comparativamente más altas que en el gas húmedo.

Los dispositivos Testo utilizan lo que se conoce como un refrigerante Peltier para enfriar el gas a medir. Este funciona basándose en el principio de que las uniones entre dos tipos de metales diferentes se calientan o enfrían a medida que el gas fluye a su través, dependiendo del sentido del flujo.

Procesos para limpiar los gases de combustión

Las emisiones de los contaminantes del aire contenidos en los gases de combustión se pueden reducir considerablemente tomando las medidas apropiadas o instalando las piezas necesarias en la instalación:

Las emisiones de partículas se reducen o se eliminan virtualmente, usando un separador de polvo.

Las emisiones de gases nocivos se pueden confinar, en principio, simplemente usando combustibles poco contaminantes. Sin embargo, la reducción importante se consigue optimizando la combustión y limpiando los gases de combustión producidos mediante reacciones de absorción o adsorción o mediante postquemador.

El análisis del gas para controlar y optimizar las mediciones juega un papel vital en estos procesos.

Proceso de desempolvado

Las instalaciones para desempolvar flujos de gas (separador de polvos) trabajan basándose en diferentes principios:

Separación mediante la fuerza centrífuga o la fuerza de gravedad:

En este caso, las partículas se desvían por la fuerza de la gravedad o por medio de fuerzas centrífugas en aquellas zonas del separador que están fuera de la corriente de gases de combustión. Ejemplos particularmente bien conocidos de este tipo de separación son los separadores basados en la fuerza centrífuga conocidos como ciclones, en los que las partículas adquieren un momento de inercia mediante una abertura de entrada de gas de diseño especial, que transporta las partículas a una cámara de separación. Desde allí entran en un recipiente colector del polvo.

Separación por medio de fuerzas eléctricas en precipitadores electrostáticos: Los precipitadores electrostáticos utilizan el efecto dinámico de un campo eléctrico sobre las partículas cargadas para separar el polvo. Las partículas de polvo se cargan primero añadiendo iones negativos y luego, como consecuencia de esta carga, son conducidas a un electrodo colector en el campo eléctrico.Allí se deposita el polvo como una capa; la capa se suelta (se limpia) golpeando el electrodo y el polvo se transporta a un depósito. Los precipitadores electrostáticos se usan fundamentalmente para limpiar volúmenes muy grandes de gas en centrales eléctricas, acerías, fábricas metalúrgicas o cementeras, por ejemplo.

Separación por medio de adherencia a filtros fibrosos, por ejemplo: En esta forma, la separación de las partículas tiene lugar en el interior o en la superficie de determinados medios filtrantes (membranas, telas, fieltros) a través de los cuales fluye el gas. Los más corrientes son los filtros de bolsas o mangas hechos de fibras. Los filtros en profundidad incluyen, particularmente, los filtros de lecho, en los que tiene lugar la separación sobre la superficie del fieltro, a través del cual el gas fluye como una capa.

Separación mediante formación de gotas en torres de pulverización, por ejemplo: Aquí las partículas se unen con un líquido de lavado añadido al flujo de gas y se separan conjuntamente con este líquido. El inconveniente de este proceso es que produce un líquido de lavado contaminado.

Info:

Con los precipitadores electrostáticos existe el riesgo básico de una explosión debido a la formación de una mezcla de gas explosiva dentro del campo eléctrico. Para una protección eficaz, se debe controlar el perfil de la concentración de CO antes del filtro.

Proceso de reducción de los óxidos de nitrógeno

Para reducir los óxidos de nitrógeno en los gases de combustión (o más exactamente para eliminar los óxidos de nitrógeno NO y NO2) se usan medidas primarias y/o, alternativamente, medidas secundarias.

Las medidas primarias incluyen el proceso en el que se escalona el suministro de aire, la combustión en lecho fluido y los quemadores especiales. En todos los casos, la formación de óxidos de nitrógeno se reduce fuertemente sólo durante la combustión.

El proceso SCR (reducción catalítica selectiva) se ha establecido ampliamente como una de las principales medidas secundarias (estas intervienen en los gases de combustión después de que han abandonado la cámara de combustión). Los gases de combustión se enriquecen luego con una mezcla de amoníaco (NH3) y aire, después de lo cual los óxidos de nitrógeno se convierten en nitrógeno y agua en una reacción química. En la jerga técnica, también se usa la abreviatura DENOX para las instalaciones de esta clase.

Combustión en lecho fluido

En las calderas de lecho fluidizado el combustible de grano fino se transporta a la cámara de combustión encima de un suelo provisto de toberas. El aire de combustión fluye a través de las toberas

desde abajo, haciendo que las partículas del combustible formen un lecho fluidizado. Las partículas sin quemar o totalmente quemadas se devuelven a la cámara de combustión desde la corriente de gases de combustión por medio de las medidas apropiadas, y se crea un lecho fluidizado circulante.

El proceso de lecho fluidizado ofrece significativas ventajas:

Las partículas del combustible entran en un contacto muy íntimo con el oxígeno del aire de combustión y la combustión es, por consiguiente, casi completa. La temperatura de la combustión es alrededor de 900°C, lo que significa que hay una producción mínima de óxidos de nitrógeno térmicos; añadiendo cal al combustible, el combustible se puede desulfurizar ya durante la combustión.

Suministro de aire escalonado

Un suministro de aire escalonado es una medida primaria extraordinariamente eficaz, ya que reduce la formación del NO en el combustible y del NO térmico.

Esto reduce directamente el suministro de aire en el quemador (aire primario), el coeficiente de exceso de aire es por consiguiente <1, aumenta la formación de CO, el contenido de NOx permanece bajo y se reduce más por la formación de moléculas de N2 estables.

Luego se añade más aire de combustión (aire de incineración) sobre el quemador en una etapa posterior y garantiza que la combustión continúe.

Esto reduce significativamente el CO y se forma muy poco NO adicional, ya que el nitrógeno está ya presente como moléculas de N2 estables.

Quemadores de NOx bajo

De forma similar al suministro de aire escalonado en la cámara de combustión, estos quemadores funcionan con un suministro de aire distribuido en varios lugares del quemador y con una recirculación de aire interna.

Esto garantiza la combustión completa con formación reducida de óxidos de nitrógeno.

Proceso de desulfuración

De los muchos procesos para desulfurizar los gases de combustión, el lavado en húmedo con cal / piedra caliza (proceso secundario) se ha establecido como el principal favorito.

En una torre de lavado, los gases de combustión se pulverizan con una suspensión de lavado (piedra caliza finamente molida en agua), a consecuencia de lo cual la mayoría del anhídrido sulfuroso (SO2) se liga por medio de una reacción química.

El SO2 gaseoso se convierte inicialmente en una solución antes de combinarse como sulfato cálcico dihidratado (yeso).

Al menos parte de las grandes cantidades de yeso así generadas se reutilizan como material de construcción.

En la jerga técnica, la abreviatura FGD (desulfuración de gases de combustión) también se usa para instalaciones de esta clase.

Incineración térmica

En la incineración térmica, también conocida como limpieza térmica de los gases de combustión, los contaminantes del aire inflamables contenidos en los gases de combustión se queman con oxígeno en el aire a temperaturas entre 700°C y 900°C.

Esto produce CO y agua, pero, dependiendo de los contaminantes, también SO2, HCl y otros.

La incineración térmica es distinta de la combustión con llama, que trabaja a 1300°C, y de la combustión catalítica, que funciona a 250-500°C.

Las calderas de incineración térmica requieren, en general, una gran cantidad de energía (calderas suplementarias) y por consiguiente solamente se usan donde otras calderas no ofrecen el rendimiento suficiente o donde necesitan ser destruidos determinados constituyentes.

Muestreo, preparación del gas

Muestreo extractivo

En la mayoría de los procesos de análisis de gases, el gas a medir se extrae del gas de proceso como una cantidad parcial que es lo más representativa posible (de aquí el nombre de proceso extractivo, a diferencia de los procesos in situ), se acondiciona y se introduce al analizador. El acondicionamiento (también denominado preparación de la muestra), consiste en limpiar el gas usando un filtro y, sobre todo, enfriando y por consiguiente secando el gas a un valor constante definido. Las ventajas de este método de medición son:

Separar la sensible tecnología del analizador de las condiciones extremadamente duras de la corriente de proceso.

La posibilidad de llevar el gas muestra a unas condiciones prácticas y constantes (y por consiguiente comparables) por medio del acondicionamiento.

La posibilidad de utilizar varios analizadores sobre una muestra o un analizador en varios puntos de muestreo (por medio de un distribuidor).

Los dispositivos para extraer y preparar el gas o están diseñados como unidades aparte o están combinados en una o más unidades compactas.

En términos sencillos, las funciones son:

El gas se extrae usando una sonda de muestreo calentada o sin calentar fabricada con diversos materiales y para diferentes rangos de temperatura (hasta 1200°C y superiores). Hay un filtro cerámico grosero en el cabezal de la sonda y en algunas sondas sensores adicionales para medir la presión y la temperatura.

El enfriador del gas a medir está situado entre la sonda y el analizador. Los gases de combustión y los gases de proceso generalmente contienen una determinada proporción de agua que aparece como vapor de agua a temperaturas elevadas (por encima del punto de rocío) y como gotitas de agua a bajas temperaturas (inferiores al punto de rocío). En ambos casos, el resultado de la medición está distorsionado por las reacciones químicas entre otros componentes del gas a medir y el agua. Además, la reacción del SO2, por ejemplo, con el agua produce soluciones muy agresivas que pueden atacar y destruir la unidad de medición.

Los enfriadores de medición se utilizan para eliminar la mayor parte del vapor de agua (humedad) del gas a medir por medio de enfriamiento a una temperatura fija, ej., 4°C y para mantener constante la humedad restante y, por consiguiente, comparable, manteniendo una temperatura constante. El condensado así producido se elimina, en general, usando una manguera o bombas de membrana.

Las tuberías o mangueras del gas a medir son o sin calentar (en el caso de gases no críticos o temperaturas exteriores muy altas) o calentadas para mantener el gas por encima del punto de rocío y evitar así la formación de condensados.

Dependiendo del fabricante, el analizador tiene otra vez un filtro de gas y en algunos casos también un separador de condensado o sistema de calentamiento interno.

Sensibilidad cruzada

La sensibilidad cruzada de un sistema de detección es el resultado de no tener un rango infinito de resolución específica.

El sistema de detección es, por consiguiente, sensible con frecuencia no solo al componente que se está midiendo, y es de interés, sino, también en cierta medida, a otros componentes (componentes

accesorios) en el gas a medir.

Los cambios en las concentraciones de estos componentes accesorios tienen un efecto sobre el valor medido del componente que realmente se mide, que se debe corregir en el dispositivo o retrospectivamente.

A este fin, también se deben medir los componentes accesorios. La sensibilidad cruzada se expresa en la forma del efecto (aumento o reducción) que tiene un componente accesorio del gas a medir sobre el valor del componente que se mide.

La magnitud de la sensibilidad cruzada depende del tipo de sistema de detección (Por consiguiente, es específico del dispositivo) y de las concentraciones de los componentes accesorios.

La especificación 0 significa "sin efecto".

Ningún signo significa un efecto positivo (incremento en la lectura).

El signo "-" significa un efecto negativo (reducción en la lectura).

Otras notas referentes a los efectos de los componentes accesorios:Elevadas concentraciones de hidrocarburos no saturados pueden dar lugar a una deriva del cero y a una intensidad de respuesta reducida y, particularmente, en las células de medición de CO y NO.Elevadas concentraciones de gases agresivos, tales como HCN, HCl o fluoruros, pueden atacar los trayectos del gas o la carcasa de la célula.

Contenido de humedad del gas

El contenido de humedad del gas es una variable muy crítica en el análisis de gases por dos motivos:

En forma de vapor, diluye los gases de combustión y, si la humedad fluctúa, esta dilución, y a su vez las lecturas, fluctúa.

Como el agua forma compuestos con determinados componentes del gas y al hacerlo cambia la concentración de estos componentes y por consiguiente las lecturas.

Soluciones:

Medir siempre la humedad al mismo tiempo como una variable importante.

Llevar la humedad a unas condiciones definidas y por consiguiente comparables, usando un enfriador del gas a medir.

En general, impedir la formación de condensación en las piezas o en todo el equipo de medición usando un sistema de calentamiento en toda la instalación.

Sensibilidades cruzadas de BAL testo350

Calibración

En la tecnología de medición la calibración se entiende que hace referencia al proceso de establecer y registrar el error de medición al que está sujeto el dispositivo terminado, preparado para funcionar. En el caso de la visualización de los instrumentos de medición, la discrepancia entre lo visualizado y el valor correcto del parámetro, o el valor que se supone que es correcto, se determina y registra usando factores o funciones. A diferencia del ajuste, el instrumento de medición no se modifica de ninguna forma durante la calibración.

La calibración es un elemento fundamental del aseguramiento de calidad en el control de las emisiones. Para la calibración se usan materiales de referencia cuya composición es conocida y con mucha exactitud. Para el análisis de gases, estos materiales de referencia son los gases de calibración (también conocidos como gases patrón).

Ajuste

En la tecnología de medición ajuste se entiende que hace referencia al proceso de ajustar un instrumento de medición para que el error de medición sea el menor posible. Este proceso implica una alteración del instrumento.

Calibración oficial: Calibración Acreditada ENAC. Este tipo de calibraciones sólo puede llevarlas a cabo un laboratorio de calibración Acreditado. Las acreditaciones a nivel nacional las realiza ENAC (Entidad Nacional de Acreditación). Otras entidades acreditadas en otros países -DKD en Alemania, COFRAC en Francia, UKAS en Reino Unido, etc - y firmantes del acuerdo de reconocimiento mutuo (MLA) de certificados de calibración se reconocen mutuamente.La diferencia principal entre un laboratorio que emite certificados trazables y certificados acreditados es que el laboratorio acreditado debe demostrar su capacidad técnica ante un auditor de la entidad de Acreditación.

Gas de prueba: Un gas cuya composición se conoce con mucha precisión y se demuestra con certificados. Los gases de pruebas se utilizan para calibrar el analizador de gas.

Gas de prueba cero: Gas de prueba usado para ajustar el punto cero de un analizador de gas. No debe contener el componente a medir (gas de proceso sin el componente a medir o nitrógeno, por ejemplo).

Gas accesorio: Gas a medir sin el componente a medir.

Analizadores de gas

Análisis de proceso

El análisis de proceso, a diferencia del análisis de laboratorio, hace referencia a los procesos de medición, normalmente continuos, que se utilizan para determinar las condiciones físicas o químicas o las concentraciones de componentes químicos en medios de proceso, in situ, en una instalación.

El análisis de proceso se usa con mayor frecuencia en las instalaciones industriales de productos químicos, petroquímicos, producción de energía, metales y minerales, materias primas alimenticias y alimentos de lujo, papel y pulpa, piedra y arcilla, sino, también, en la construcción de motores y en investigación y desarrollo, por ejemplo. En el caso de medios de proceso gaseosos (gases de combustión, gases de proceso, gases de escape, así como aire), se hace referencia al análisis de gases de proceso.

Por toda la instalación están distribuidos puntos de medición con el muestreo y los instrumentos de medición (analizadores de gases) en continuo (en la caldera, chimenea, horno de cemento, antes del precipitador electrostático, en una torre de destilación, etc.) en condiciones operativas extremadamente duras, en algunos casos. A la vista de esto, las diferencias con el análisis de laboratorio, donde se toman muestras discretas de un proceso y se examinan en un laboratorio en condiciones de laboratorio controladas y estables quedan claras.

El resultado de las mediciones se usa:

Para controlar el proceso, por ejemplo, dimensionando conjuntos y optimizando procesos.

Para la seguridad de la instalación, comprobando mezclas de gas explosivas.

Para la calidad de producto, controlando procesos y especificaciones de producto.

Para la protección medioambiental, comprobando el cumplimiento de los gases de combustión con los límites de emisiones permitidos de los contaminantes.

Analizadores

El elemento central de cualquier analizador son sensores o sistemas de sensores específicos de la sustancia. Su funcionamiento está basado en principios físicos o químicos tales como la absorción, adsorción, transmisión, ionización, oxidación catalítica o propiedades paramagnéticas o electroquímicas. Los sensores reaccionan a un cambio en el parámetro con un cambio correspondiente en su propiedad (ej., aumento de la absorción de la luz o reducción de la conductividad), a partir de lo cual se puede obtener una señal de medición.

Por lo que respecta al diseño, se pueden clasificar en:

Analizadores móviles, ligeros y transportables para mediciones rápidas en diversos emplazamientos.

Analizadores fijos colocados permanentemente en la instalación para mediciones continuas durante meses y años.

Y entre estos:

Analizadores que miden directamente en la corriente de proceso (dispositivos "in situ").

Analizadores a los que una muestra extraída del proceso se lleva y se prepara para la medición (dispositivos "extractivos").

Gracias a los últimos avances se dispone de dispositivos que combinan movilidad y medición estacionaria a largo plazo.

Un ejemplo de esto es el analizador testo 360, que es fácilmente transportable aunque adecuado y está aprobado para mediciones a largo plazo durante varias semanas.

Sensores

Sensores, formalmente, hace referencia a todos los tipos de dispositivos que proporcionan información acerca de una variable física o química.

Un sensor está compuesto por el sensor de medida real (también llamado el elemento sensor) y un transmisor. El sensor de medición debe tener una propiedad, ej., la conductividad, que también varíe con la variación de la variable a medir, tal como una temperatura. Esta "reacción" del sensor de medición se convierte luego en una señal de medición eléctrica por el transmisor (normalmente un amplificador).

Los principales grupos de sensores son:

Sensores para determinar temperatura.

Sensores para determinar presión.

Sensores para determinar velocidad de flujo volumétrico.

Sensores para determinar concentraciones de sustancias y propiedades de sustancias (tecnología de análisis).

El término sensor se usa con frecuencia de forma coloquial en la tecnología de análisis, solamente para aquellos sensores de medición que tienen unas dimensiones especialmente pequeñas, mientras que los sensores grandes se describen como un "analizador". Algunos de los sensores que se usan con frecuencia para determinar componentes de los gases se muestran en la tabla que sigue.

Sensores usados frecuentemente

Dispositivos transportables

Los requisitos de los analizadores transportables en la industria de proceso representan un reto particular para los fabricantes de equipos. En el duro ambiente de medición, la precisión necesaria y la fiabilidad de los valores de medición exigidos, junto con las dimensiones pequeñas y el poco peso del equipo, componen un perfil de requisitos que, hasta hace pocos años, no se podían cumplir. El desarrollo de los analizadores testo 350 y testo 360 ha marcado nuevos hitos que han recibido el aval con la emisión de las aprobaciones oficiales de estos dispositivos.

Los dispositivos testo 350 y 360 son dispositivos móviles que miden de forma extractiva y, debido a sus propiedades especiales (enfriador del gas a medir, calibración automática y otras), también se pueden usar en aplicaciones estacionarias durante un período de tiempo determinado. Por consiguiente, abren nuevos campos de aplicación y ofrecen al usuario una solución muy rentable para diversas tareas. Idealmente, los sensores electroquímicos de gases, que son muy apropiados para dispositivos móviles

debido a su poco peso, necesidades de espacio y consumo de energía, se usan como sensores. Sin embargo, su principio de funcionamiento requiere un considerable nivel de experiencia para garantizar la precisión, fiabilidad, duración y funcionalidad mediante el diseño del entorno correcto del sensor.

Principios de medición para verificar gases (selección)

Se utilizan diversos principios de medición para verificar los diferentes gases en mezclas de gas. La tabla que sigue aparece un resumen de los mismos junto con la referencia a los principios adoptados por Testo.

Sensores electroquímicos

Los sensores electroquímicos adecuados para determinar el contenido de oxígeno y los constituyentes nocivos del gas tales como CO, SO2 o NOx, funcionan basándose en el principio de la valoración potenciométrica sensible a los iones.

Los sensores están rellenos con un electrolito acuoso, específico para la tarea, en el que están dispuestos dos o tres electrodos, igualmente combinados específicamente, entre los que hay un campo eléctrico. Los sensores están sellados del exterior mediante membranas permeables al gas.

El diseño específico y el funcionamiento de los sensores difieren según el componente del gas a medir, como se muestra usando dos ejemplos:

Sensor de oxígeno (sensor de dos electrodos): Los gases de combustión y las moléculas de oxígeno contenidas en ellos penetran a través de la membrana permeable al gas hasta el cátodo. Debido a su composición material, tiene lugar una reacción química en el cátodo con la formación de iones OH (los iones son partículas cargadas). Estos iones migran al ánodo a través del electrolito, creando un flujo de corriente proporcional a la concentración de O2. La caída de tensión desarrollada en una resistencia situada en el circuito sirve luego como señal de medición que se utiliza para el procesado electrónico posterior. La resistencia incorporada con coeficiente de temperatura negativo (NTC), se usa para compensar los efectos de la temperatura, garantizando así que el sensor permanezca estable frente a los cambios de temperatura. La duración de un sensor de oxígeno de este tipo es de unos 3 años.

Ecuaciones de reacción del sensor de oxígeno:En el cátodo: O2 + 2H2O + 4e- ------> 4OH-En el ánodo: 2Pb + 4OH- ------> 2PbO + 2H2O + 4e-Balance: 2Pb + O2 ------> 2PbO

Sensores para CO, SO2 y NOx (sensor de tres electrodos): Para componentes del gas tales como CO, SO2 o NOx, se usan sensores con tres electrodos. El funcionamiento se explica basándonos en un sensor de CO; cómo se aplica esto a los otros componentes se puede ver a partir de las ecuaciones de reacción.

Las moléculas de monóxido de carbono (CO) pasan, a través de la membrana permeable al gas, al electrodo de trabajo donde se forman iones H+ como consecuencia de una reacción química. Estos migran en el campo eléctrico al contraelectrodo, donde se genera un flujo de corriente en el circuito externo mediante otra reacción química desencadenada por el oxígeno (O2) del aire puro, también aportado. El tercer electrodo (electrodo de referencia) sirve para estabilizar la señal del sensor. La duración operativa de este tipo de sensor es de unos 2 años.

Ecuaciones de reacción para el CO

Ánodo: CO + H2O --------> CO2 + 2H+ + 2e-Cátodo: 1/2 O2 + 2H+ + 2e- --------> H2O

Otras ecuaciones de reacción

SO2 + 2H2O ------> H2SO4 + 2H+ + 2e

NO + 2H2O ------> HNO3 + 3H+ + 3e-

NO2 + 2H+ + 2e- ----> NO + H2O

Absorción infrarroja

La radiación infrarroja es absorbida por gases tales como el CO, CO2, SO2 o NO, con una longitud de onda típica de cada componente (rango de longitud de onda de unas pocas µm). La atenuación de un determinado rango de radiación infrarroja a medida que un volumen de gas pasa a su través es, por consiguiente, una medida de las concentraciones del componente gaseoso en el gas a medir que ha pasado a su través. Hay dos métodos para incidir en solo un componente:

En el método dispersivo la radiación se descompone espectralmente mediante prismas o redes de difracción antes de que el volumen de gas pase a su través, después de lo cual solamente la radiación con la longitud de onda típica del componente que se está midiendo y es de interés, atraviesa el volumen del gas (cámara de medición). Este principio se usa en particular en los dispositivos de laboratorio.

En el método no dispersivo (método NDIR) se prescinde de la descomposición espectral descrita anteriormente, y una radiación de banda ancha, modulada con una rueda obturadora en todo el recorrido donde sea necesario, pasa a través de la cámara de medición.

Hay pues dos métodos para verificar la absorción:

El propio componente a medir se usa en forma de un detector lleno con el mismo, de tal forma que el detector está lleno con el componente a medir y se mide la radiación residual aún presente después de que ha pasado a través de la cámara de medición, donde sea pertinente, comparando con la radiación sin atenuar. Las fluctuaciones de presión que se producen (debidas a las fluctuaciones en el calentamiento del volumen del gas como consecuencia de la absorción) se registran mediante un condensador de membrana o un sensor de microflujo y se convierten en una señal eléctrica.

Alternativamente, la radiación pasa a través de la sección de absorción y luego se contrae al rango de longitud de onda requerido para el CO2; por ejemplo, se verifica por medio de un filtro de interferencia usando un detector de radiación IR. A medida que aumenta la concentración del gas, se absorbe más radiación y la señal del detector se reduce en consonancia.

Conductividad térmica

Los analizadores de conductor térmico (detectores de conductividad térmica estándar) utilizan la diferente conductividad térmica de los gases de medición y de referencia.

Un puente de hilo de medición a resistencias está rodeado en secciones por el gas a medir y por un gas de referencia con una conductividad térmica apropiada para la tarea de medición.

El diferente enfriamiento de los hilos de la resistencia produce un desequilibrio del puente, que se utiliza como el efecto a medir.

Oxidación catalítica

Este principio de medición está basado en el calor de evaporación de los constituyentes inflamables del gas a medir.

Estos se convierten catalíticamente en un cuerpo precalentado eléctricamente (alambre o pastilla) y a medida que se queman aumenta la temperatura del cuerpo, modificando su resistencia eléctrica.

El requisito para este principio de medición es un contenido de oxígeno adecuado en el gas a medir para la combustión.

El cambio de resistencia es una medida del contenido de (¡todos!) los constituyentes inflamables en el gas a medir.

En particular estos son hidrocarburos (abreviados a HC y también denominados como CxHy) pero, también, CO o H2.

Por consiguiente, existen sensibilidades cruzadas entre estos componentes que deben ser tenidas en cuenta en la medición y en la evaluación de las lecturas.

Ejemplo:

La lectura del hidrocarburo metano aumenta, por el CO también presente en el gas a medir, un 0,27 % en vol. por cada 1 % en vol. de CO. Para el hidrógeno, el incremento análogo es del 1,5 % en vol. por cada 1 % en vol. de H2.

Además, hay una sensibilidad cruzada al vapor de agua.

El módulo usado por Testo para medir hidrocarburos se basa en este principio.

Una corriente fluye a través de un hilo de platino, que calienta el hilo y el material catalítico aproximadamente a 500°C. Los componentes inflamables del gas a medir se queman en la superficie (en la medida que haya oxígeno suficiente para ello), elevando la temperatura del convertidor catalítico y del hilo de platino lo cual, a su vez, modifica la resistencia eléctrica del hilo y produce una señal de medición en un "circuito puente de Wheatstone".

Sensor basado en el principio de la oxidación catalítica:

Se debe prestar una atención especial cuando se utilice el módulo Testo HC debido a sus sensibilidades cruzadas y al posible deterioro de su funcionamiento por sustancias presentes en el gas a medir tales como H2S, silicona o hidrocarburos sulfurados.

Detector de ionización de llama

Los compuestos orgánicos de carbono contenidos en el gas a medir se conducen al interior de una llama (normalmente hidrógeno / helio), se queman en esta llama y se ionizan en el proceso.Los iones generados se miden como una corriente de iones que, en primera aproximación, es proporcional a los átomos de carbono orgánico involucrados en el proceso.La diferente sensibilidad de este método por lo que respecta a los diferentes compuestos orgánicos se tiene en cuenta mediante factores de respuesta.

Sensor de electrolito sólido:

Un principio de medición especial, pero ampliamente utilizado, para medir oxígeno en condiciones operativas duras, utiliza un electrolito sólido de cerámica dopada con óxido de circonio, con n capas conductoras montadas en superficies enfrentadas como electrodos. Como propiedad específica, este electrolito sódico contiene huecos de oxígeno en su red cristalina que facilitan la conductividad de los iones de oxígeno a temperaturas elevadas. Las moléculas de oxígeno (O2) en el gas de proceso a medir se convierten en iones oxígeno cuando entran en contacto con el material del electrodo; si el electrolito está a una temperatura suficientemente elevada (>500°C), estos iones de oxígeno producen una corriente a través del electrolito.

Si la concentración de oxígeno es la misma en ambos lados, estos efectos aumentan, pero si las concentraciones son diferentes, se genera una corriente eléctrica aprovechable.Si hay un gas de referencia con una concentración conocida de O2 en un lado, el contenido en O2 del gas a medir se puede determinar a partir de esta señal. Los dispositivos que funcionan basándose en este principio se conocen como "sondas de óxido de circonio" o "sondas de oxígeno".Generalmente se instalan directamente en los gases de combustión calientes (principio in situ) y por consiguiente miden el gas en sus condiciones originales, es decir, ¡Con su humedad!

Sin embargo, como la humedad tiene un efecto de dilución sobre los otros componentes del gas, las lecturas de O2 de las sondas de esta clase son, en general, inferiores a las lecturas de O2 obtenidas en los mismos gases de combustión, pero a temperaturas del gas inferiores, es decir, gases de combustión más secos, independientemente del método de medición utilizado.

Info:

Las lecturas de oxígeno de las sondas de circonio son, en general, inferiores a los valores obtenidos en el mismo gas mediante otros métodos, ¡Pero ambos conjuntos de lecturas son válidos! La diferencia es atribuible a los diferentes grados de dilución (temperaturas) del gas durante la medición; donde los

valores se basen en las mismas temperaturas del gas (es decir, los mismos grados de dilución) ¡Serán idénticas!Testo utiliza este efecto en algunos de sus analizadores para medir la humedad en los gases de combustión usando el siguiente procedimiento:

Medición del contenido de oxígeno en los gases de combustión húmedos usando un sensor de ZrO2.

Enfriamiento y secado de los gases de combustión en un enfriador de gas.

Medición del contenido de oxígeno en los gases de combustión secos usando un sensor electroquímico.

El contenido de humedad original de los gases de combustión se puede calcular a partir de la diferencia entre las dos lecturas y la temperatura del enfriador.

Tecnología de análisis de gas

Hay 3 métodos para medir gases de combustión:

CTM 034:

Este método de medida era publicar en 2005 de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos. CTM significa “Conditional Test Methods” porque la Agencia define métodos de ensayo que describen el uso de equipos de determinada tecnología para ciertas tareas de medición.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (comúnmente conocida como EPA por sus siglas en inglés, algunas veces USEPA) es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo.

Aplicabilidad: Este método es aplicable a la determinación de concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO y NO2), monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O2) en emisiones controladas y no controladas originadas en combustiones de combustibles como gas natural, propano, butano y petróleos. Este método está designado para proporcionar un alto grado de seguridad en el cumplimiento de normativas mediante la monitorización o comprobación periódicas. Este método no es adecuado para aquellos casos en los que se necesita un método de comprobación de referencia EPA. Además, debido a la sensibilidad cruzada inherente a los sensores electroquímicos, este método no se debería aplicar a otros contaminantes o fuentes de emisiones sin una investigación exhaustiva previa sobre posibles interferencias analíticas y una evaluación comparativa con otros métodos de comprobación EPA.

Principio: Se extrae una muestra de gas de la chimenea mediante un analizador de PdC portátil para la determinación de concentraciones de NO, NO2, CO y O2. Se deben conocer con exactitud las especificaciones técnicas y el manejo del analizador, así como los procedimientos de comprobación para obtener datos fiables. Para cumplir con las especificaciones según los métodos de comprobación puede que se deban usar accesorios o se deba modificar la configuración del analizador (mangueras calentadas, termopares, anemómetros, etc.). No se permite cambiar la configuración del analizador para que difiera de una verificación previa.

Análisis de los contaminantes presentes en muestras de emisiones gaseosas

ASTM D-6522

Este método de medida era publicar en la “Annual Book of ASTM Standards” de la “American Section of International Association for Testing Materials”. ASTM o ASTM International es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.ASTM International establece más de 14,000 normativas, documentos de especificaciones, métodos de comprobación, clasificaciones, procedimientos y directrices que describen las características de materiales, sistemas, productos y servicios. La ASTM está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO, y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias, con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica.

Aplicabilidad: Los procedimientos y especificaciones de este método se desarrollaron durante los test en laboratorio y en campo originados por el Gas Research Institute (GRI).[2] Los test comparativos de

emisiones solo se llevaron a cabo en fuentes de combustión con gas natural.

En el caso de los gases de combustión se aceptarán las mediciones según la norma ASTM D-6522, siempre que las instalaciones no se encuentren afectadas por el RD 653/2003 y el RD 430/2004.

Principios: Método de comprobación estándar para la determinación de concentraciones de Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Oxígeno en emisiones de motores de explosión de gas natural, turbinas de combustión, calderas y quemadores de procesos mediante analizadores portátiles.

Este método de comprobación abarca la determinación de las concentraciones de óxidos de nitrógeno (NO y NO2), monóxido de carbono (CO), y oxígeno (O2) en emisiones controladas y no controladas en motores de explosión de gas natural, turbinas de combustión, calderas y quemadores de procesos. Debido a la sensibilidad cruzada inherente a los sensores electroquímicos, este método de comprobación no es adecuado para otros contaminantes o fuentes de emisiones sin una investigación completa de posibles interferencias analíticas y una evaluación comparativa con métodos de comprobación EPA.

Medidas relativas a la prevención de la contaminación atmosférica: Con respecto a la prevención de la contaminación atmosférica, los límites de emisión se han fijado de acuerdo con la legislación aplicable y los documentos de referencia europeos en relación con las mejores técnicas disponibles. Se fijan los límites de emisión siguientes.

Métodos de referencia:

Oxígeno - EN 14789: Se envía una muestra fresca y seca a un analizador paramagnético mediante un Analizador de PdC Horiba, método rápido y eficaz para medir niveles de oxígeno, y validado para muestreos de 30 minutos en el rango de 5 a 26%. Los resultados en O2 se ajustan al oxígeno de referencia y se muestran como mg/Nm3.

Monóxido de Carbono – EN 15058: Se envía una muestra fresca y seca a un analizador por medición directa de infrarrojos (NDIR) no dispersivo mediante un Analizador de PdC Horiba. Los resultados en CO se ajustan a la referencia y se muestran como mg/Nm3. Este método se ha validado para concentraciones de CO en muestreos de 30 minutos en el rango de 0 mg/Nm3 a 400 mg/Nm3 para grandes plantas de combustión de 0 a 740 mg/Nm3 de incineración y residuos.

Óxidos de nitrógeno – EN 14792: Este método se realiza mediante quimiluminiscencia usando un Analizador de PdC Horiba. La columna de gas se enfría y se seca antes de que pase por el analizador. Los resultados en NOx se ajustan al oxígeno de referencia y se muestran como mg/Nm3.Este método se usa tanto para rangos altos como bajos de concentraciones de NOx, calibrado mediante gases patrón UKAS trazables de referencia.

Dióxido de sulfuro – EN 14791:Se toma una muestra representativa mediante un sistema impinger mezclada con una solución diluida de peróxido de hidrógeno. Tras el muestreo, la solución impinger se analiza por cromatografía de iones para sulfato (SO4) y se ajusta al dióxido de sulfuro (SO2).

Razones para usar el análisis de gases para gases de combustión industriales

El análisis de gases (que es la tecnología de medición usada para determinar la composición de los gases) es una herramienta indispensable para garantizar la gestión económica y segura del proceso en virtualmente todos los campos de la industria.

Está enfocado a los procesos de combustión, aunque este es un término genérico que incluye un gran número de procesos diferentes. La secuencia de un proceso de combustión se da en secciones, que empieza con el aporte del combustible y del aire de combustión a una cámara de combustión, seguido por la combustión real y los diversos procesos ejecutados en su interior, pasando por la limpieza de los gases de combustión y la comprobación de las emisiones finales.

El análisis de gases proporciona información acerca de la composición de los gases de combustión y de los gases de escape en todas las fases de esta cadena de proceso. Es por consiguiente una

herramienta indispensable para la operación económica y segura de la instalación en conformidad con la reglamentación oficial y, por consiguiente, también para la calidad y eficiencia de la producción.

Los analizadores de gases de Testo se usan ampliamente para analizar gases de combustión en la industria y en ninguna forma está reducido su empleo al campo específico del control de emisiones. Se puede hacer una distinción, con un cierto solapamiento, entre las siguientes aplicaciones:

Trabajos de ajuste y revisión para reparación general, por ejemplo, después del mantenimiento de la instalación, en concepto de investigación de averías en caso de procesos inestables, en la preparación para las mediciones oficiales, después de reparaciones, etc.

Mediciones en proceso de combustible, aire de combustión, quemador y en la cámara de combustión para optimizar la combustión con la finalidad de ahorrar combustible, mejorar el rendimiento y prolongar la vida operativa de la instalación. Estas mediciones también están vinculadas a las mediciones de las emisiones, como optimización de la combustión en general, también desencadena una reducción en los valores de las emisiones.

Mediciones en proceso para controlar una atmósfera gaseosa definida en la cámara de combustión o en cámaras de combustión especiales o en hornos durante procesos tales como incineración, tostación, tratamiento superficial, etc.

Mediciones de proceso y emisiones para controlar el funcionamiento correcto de los equipos de limpieza de los gases de combustión.

Mediciones de emisiones para controlar el cumplimiento de los valores límite para contaminantes en los gases de combustión corriente arriba o en la chimenea.

Factores particularmente esenciales en la optimización de la combustión son:

La composición del combustible y el aire de combustión (zona en la que entra en juego el análisis de gases).

El comportamiento de inflamación y la temperatura de combustión.

El diseño del quemador y de la cámara de combustión.

La relación combustible / aire de combustión (zona en la que entra en juego el análisis de gases).

La relación óptima de combustible a cantidad de aire de combustión (coeficiente de exceso de aire λ) para una instalación y un combustible dados, se puede determinar a partir de las lecturas del análisis de gases usando lo que se llama el diagrama de combustión. Los perfiles de concentración de los componentes del gas CO, CO2 y O2 se muestran como función del coeficiente de exceso de aire.

La línea de combustión ideal con 0 exceso de aire (λ =1) está en el centro del gráfico, a su derecha el volumen de exceso de aire aumenta y a su izquierda aumenta el rango de insuficiencia de aire (¡falta de aire también significa insuficiencia de oxígeno!)

Los perfiles de concentración mostrados proporcionan la siguiente información:

Zona a la izquierda:

Falta de aire significa que hay presencia de CO, ya que falta oxígeno para oxidar totalmente el CO a CO2. Este CO que está presente cuando hay falta de aire ¡Es extremadamente peligroso cuando sale de la instalación debido a su toxicidad!

A medida que disminuye la insuficiencia de aire, es decir, aumenta la concentración de O2, el volumen de CO desciende como consecuencia de la oxidación para formar CO2 y el volumen de CO2 aumenta en la misma proporción. Este proceso se completa a λ=1 o ligeramente por encima de éste, el CO es casi cero y el CO2 alcanza su valor máximo.

El oxígeno no está presente en este rango, o no es medible, ya que todo oxígeno adicional se usa inmediatamente para oxidar el CO.

Zona a la derecha

En el rango λ>1 el volumen de O2 aumenta, ya que el oxígeno añadido a medida que aumentaba la insuficiencia de aire ya no se utiliza para la oxidación debido a la ausencia de CO. En la práctica, sin embargo, siempre se requiere una cierta cantidad de exceso de aire para garantizar la combustión completa, ya que la distribución del oxígeno en la cámara de combustión no es uniforme. El tamaño de partícula del combustible también es significativo: cuando menores son las partículas, mayor es el contacto con el oxígeno y menor es la cantidad de exceso de aire que se requiere.

Por otro lado, el CO2 baja de su valor más elevado a λ=1, aunque no como resultado de una reacción química, sino como un efecto de dilución debido al incremento de la cantidad de aire de combustión la cual, por sí misma, contribuye a la vez a que no haya CO2.

Conclusión

La combustión óptima se consigue si hay exceso de aire suficiente, y por consiguiente de oxígeno, para quemar todo el CO (rango de λ = desde 1,0 a aprox. 1,3) pero, al mismo tiempo hay un techo bajo de la cantidad de exceso de aire para que los menos gases de combustión calientes posibles, y por consiguiente de energía calorífica, se pierdan a la atmósfera como resultado de cantidades innecesariamente altas de exceso de aire.

El rango óptimo de λ para una instalación de combustión por lo que respecta a la energía (también depende de los datos específicos de la instalación) se puede determinar o midiendo el CO2 y el CO (¡el CO2 por sí solo es ambiguo ya que el perfil de su curva se extiende más allá de su límite máximo!) o midiendo solamente el O2. La última opción de medir el O2 se usa ampliamente ahora.

Dependiendo de la instalación y de su operario, los puntos de medición o de muestreo del gas pueden estar situados en varios puntos de la cámara de combustión.

Las correlaciones entre el coeficiente de exceso de aire, el exceso de aire y el contenido típico de oxígeno en los gases de combustión secos, mostrados en el gráfico se indican en cifras en la tabla que sigue para la combustión de antracita.

Control de procesos

A diferencia de las instalaciones de combustión convencionales (instalaciones de calderas de combustión), una instalación de combustión de proceso se caracteriza por el hecho de que hay contacto directo entre la combustión o los gases de combustión calientes y un producto a tratar térmicamente y que esto desencadena una serie de fases del proceso. La fabricación de clinker de cemento es un ejemplo que servirá para ilustrar otros procesos similares:

La materia prima húmeda se tritura y se seca con los gases de combustión calientes.

La harina bruta depositada se calienta aproximadamente a 800°C mediante el gas caliente al desplazarse a contracorriente.

En el calcinador se expulsa el CO2 de la harina bruta aproximadamente a 950°C por medio de un proceso de combustión multifásico (se neutraliza el material).

La harina bruta, conjuntamente con todos los inertes se incineran (sinterizan) en el horno a unos 1400°C.

Aplicaciones típicas

Análisis de gases

El análisis de gases permite evaluar dichas fases del proceso por lo que respecta al exceso de aire, corrientes de aire exterior a calcular y las partes individuales de la instalación a equilibrar por separado. Esto es importante para el calcinador (medición de CO2 y O2), por ejemplo, ya que una calcinación insuficiente puede desencadenar perturbaciones significativas en el funcionamiento del horno. En procesos de esta clase, pueden pasar sustancias desde el producto que se procesa a los gases de

combustión, incrementando las emisiones producidas por la instalación de combustión. En determinados casos, sin embargo, los contaminantes pueden, a la inversa, pasar desde el gas al producto que se procesa o a sustancias especialmente designadas (cenizas). Un ejemplo de esto es la industria del cemento o de la cal, en las que el azufre en el combustible se convierte en un constituyente del producto como óxido de azufre, en el proceso de combustión.

A la inversa, durante la fabricación del vidrio o de ladrillos, los óxidos de azufre se liberan del producto incrementando considerablemente la concentración de los gases de combustión. Hay una analogía con incremento de las emisiones de CO durante procesos que se realizan a contracorriente de la materia prima y los gases de combustión (ej., los hornos rotativos). En estos hornos, la cantidad de oxígeno en zonas alejadas del centro de la combustión puede ser insuficiente, dando lugar a una combustión incompleta con aumento de la concentración de CO.

Metales pesados pueden infiltrarse en el producto que se incinera (cemento, cal) y ser emitidos por el producto en los gases de combustión (industria metalúrgica, fabricación de vidrio). Las emisiones generadas por el proceso se pueden reducir significativamente mediante medidas relacionadas con el proceso tales como el diseño del horno, la gestión de la llama, la temperatura del producto que se incinera y del horno, el suministro de aire de combustión, etc. El análisis de gases proporciona la información necesaria para ello.

Calderas industriales:

El término caldera industrial se entiende que hace referencia a instalaciones de combustión usadas en la industria para producir calor y agua caliente y/u otros portadores de calor.

Esto también incluye las instalaciones de combustión para convertir sustancias en instalaciones de refinerías u hornos de coque, por ejemplo.

La producción de calor de las calderas industriales está en general, en el rango de los megavatios.

En el contexto de la reglamentación de emisiones dentro del ámbito de los Reales Decretos 833/1975, 653/2003 y 430/2004.

Las tareas del análisis de gases están orientadas en este caso a optimizar la combustión, comprobando la limpieza de los gases de combustión y controlando el cumplimiento con los valores límite.

Tratamiento superficial termoquímico:

Esta es una forma de tratamiento térmico en la cual la composición química de una pieza o de su superficie se modifica de una forma específica absorbiendo o expulsando determinados elementos de la atmósfera de gas ambiente. Esto se utiliza sobre todo para endurecer el acero pero, también, para hornear vidriados y pinturas en la industria cerámica.

Estos procesos utilizan virtualmente sólo vidrio como medio de tratamiento (en casos raros también polvo) y difieren en naturaleza y concentración de los elementos introducidos por absorción (ej., nitrógeno en la nitruración, cromo en la cromización) y en las temperaturas de proceso (aproximadamente 400 - 1100 °C). Los hornos continuos y por lotes entran en una amplia gama de diseños.

En todos los casos el análisis de gases requerido para garantizar el funcionamiento óptimo de la instalación (reducción de costes, seguridad) y para controlar la atmósfera de gas específica del proceso (calidad de producto, incluida la documentación de acuerdo con ISO 9000 ff.). Los componentes más importantes a medir son O2, CO, CO2 y SO2.

Seguridad:

Las aplicaciones del análisis de gases en procesos también pueden incluir mediciones diseñadas para proteger a las personas y a la instalación. Esto aplica a los gases tóxicos pero, sobre todo, a los inflamables y explosivos, particularmente al monóxido de carbono, CO. Los peligros de los incendios sin

llama en los silos de polvo de carbón e instalaciones trituradoras de carbón pueden ser identificados por consiguiente en las fases iniciales controlando el CO y se puede evitar la formación de una mezcla de gas explosiva en los precipitadores electrostáticos. De forma similar, controlar las peligrosas concentraciones de metano u otros gases explosivos, particularmente en instalaciones químicas, puede ayudar a prevenir situaciones peligrosas.

Límites de explosividad

Las mezclas de sustancias inflamables con aire u oxígeno son inflamables en determinadas concentraciones. Hay un límite de inflamación inferior y superior para cada mezcla. Estos valores dependen de la presión y de la temperatura: indican la parte del componente inflamable para ambos límites a una determinada temperatura y presión (generalmente 20°C y 1 bar) en % en volumen o en g/m3. El rango de inflamación o de explosión está entre estos dos límites, véase la tabla que sigue.

El principio de medición "oxidación catalítica" se usa para analizar mezclas de gas en componentes inflamables, aunque éste determina la suma de todos componentes inflamables. El rango de medición del dispositivo debe estar basado, por consiguiente, en el componente con el límite de explosividad inferior más bajo cuando se controla por el límite de explosividad inferior de una mezcla.

Análisis de gases para comprobar emisiones:

La operación de instalaciones industriales de cualquier clase que sea (grandes centrales eléctricas, acerías, cementeras, vidrierías, industrias químicas y muchas otras), desde instalaciones municipales a pequeñas fábricas, están sujetas, en la mayoría de los países, a una estricta reglamentación por lo que respecta a las emisiones de gases de combustión a la atmósfera.Se debe asegurar y verificar con regularidad, mediante las medidas pertinentes, que los componentes definidos como contaminantes no superen determinados valores límite en los gases de combustión. Cada país ha aprobado leyes y reglamentos en este campo, y de gran alcance en algunos casos; en España existen los Reales Decretos sobre emisiones, en Alemania existe la Ley Federal de Control de Inmisiones, mientras que en los EE.UU. existe la Ley de Limpieza del Aire. No existe una reglamentación estándar para toda Europa o toda Asia. Por consiguiente, muchos países basan sus reglamentaciones nacionales.

El análisis de gases juega un papel fundamental en la puesta en marcha y el control de las medidas requeridas para limitar las emisiones...

Info:

Emisión: Las contaminaciones del aire, ruidos, vibraciones, calor, etc. que salen de una instalación (fuente)

Inmisión: Las contaminaciones del aire, ruidos, vibraciones, etc. que actúan sobre las personas, animales, instalaciones, terreno, edificios, etc.