

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

- 1.- Analizadores
- 1.2.- Analizadores de Gases
- 1.2.09.- Analizadores en control de combustión

Contenido

1	Introducción	2
1.1	General	2
1.2	Química de la combustión	2
2	Control de combustión	6
2.1	Exceso de aire óptimo	6
2.2	Inquemados	6
2.3	Punto de rocío ácido	7
2.4	Lazos de control	8
2.5	Control de emisiones	10
3	Analizadores de proceso específicos	12
3.1	Oxígeno más quemados	12
3.2	Punto de rocío ácido.- Analizador Land Combustión, modelo 440	18
4	Mantenimiento	20
4.1	Calibración	20
4.2	Mantenimiento	20
5	Consideraciones de instalación y tratamiento de muestras	21
5.1	Instalación	21
5.2	Tratamiento de muestras	21
6	Especificaciones	22
6.1	Ametek-Thermox WDG-IV	22
6.2	Servomex 2700C	23
6.3	Rosemount Analytical, OCX-8800	24
6.4	ABB Smart Analyzer 90, Tipo SMA	25
6.5	LAND, Serie 9000 - CO	27
6.6	Land combustión, modelo 440. Temperatura de punto de rocío ácido	28
7	Bibliografía, referencias, agradecimientos y direcciones de interés	29





TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

1 Introducción

1.1 General

Hay varios factores que inciden en los esfuerzos que se dedican a mejorar los controles de combustión de calderas y hornos usados en la industria. Así como en las calderas, más pequeñas, mucho más pequeñas, pero mucho más numerosas utilizadas en la pequeña industria y en usos domésticos.

Los dos factores más importantes son: el encarecimiento progresivo de los combustibles fósiles¹ y las limitaciones en las emisiones derivadas del cambio climático y de las distintas regulaciones oficiales dictadas por cada gobierno. Otros factores son la estabilidad del proceso de producción, seguridad en el conjunto de las instalaciones, disminución de mano de obra, etc.

Con esa perspectiva y dentro del marco general de estos temas de analizadores de proceso consideraremos los efectos de la instalación de ciertos analizadores, básicamente en instalaciones industriales de producción de vapor, que contribuyen a mejorar la eficiencia de la combustión, a alargar la vida de la caldera y a disminuir las emisiones de gases contaminantes.

1.2 Química de la combustión

La combustión es la reacción química de una sustancia particular con un oxidante. Generalmente, y en lo que sigue así será considerado, este oxidante es el oxígeno presente en la atmósfera.

El proceso de la combustión se inicia calentando -de alguna forma- el fuel por encima de su temperatura de ignición. Bajo la influencia del calor los enlaces químicos del fuel se rompen. Si se produce una combustión completa, los elementos carbono, hidrógeno y azufre reaccionan con el oxígeno contenido en el aire para formar dióxido de carbono CO_2 , vapor de agua H_2O y dióxido de azufre SO_2 , y, en un grado menor, trióxido de azufre SO_3 .

Básicamente una buena combustión necesita la combinación adecuada de fuel y aire, temperatura, turbulencia y tiempo. En muchos tipos de fuel, los principales elementos son el carbono y el hidrógeno, aunque algunos contienen cantidades pequeñas de azufre, mientras otros, como en altos hornos o gas de proceso, pueden contener porcentajes relativamente altos de CO.

Al quemar cualquier fuel, el objetivo principal es utilizar todo el combustible sin pérdida de energía por la chimenea o en la bandeja de cenizas. Se debe suministrar oxígeno suficiente para consumir todo el fuel. Pero cualquier exceso de oxígeno y nitrógeno que aparezca en los gases de la combustión también será calentado y, dado que el calor contenido en los humos se perderá, el suministro de aire se deberá mantener al mínimo. Además, incrementando el volumen de gases también se incrementa la velocidad a la cual pasan a través del cajón de combustión y resto de la caldera. Como la transferencia de calor depende parcialmente del tiempo que los gases están en contacto con las superficies de intercambio térmico, el incremento de velocidad reduce la transferencia de calor y hace aumentar la temperatura de los humos.

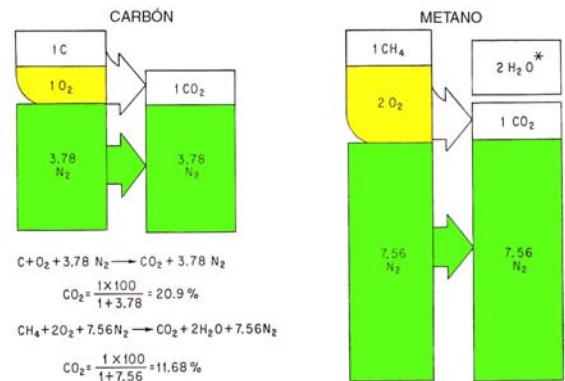
Hay una considerable diferencia entre la teoría y la práctica de la relación fuel/aire. Los requerimientos reales dependerán de la clase de fuel, la forma y tamaño del horno, la temperatura y forma de recogida de cenizas, y otros aspectos del diseño de la caldera y del equipo de quemadores. Siempre será requerido un exceso de aire, y, después de que se haya determinado éste para el mejor rendimiento del equipo, teniendo en cuenta la eficiencia de la combustión, necesidades de mantenimiento y producción de vapor, se deberán centrar los esfuerzos en mantener estas condiciones.

¹ En el momento de redactar estas líneas el precio del crudo supera los 87 dólares el barril

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

El carbono es uno de los dos principales elementos en el fuel. Cuando se quema carbono puro, una molécula de carbono se combina con una molécula de oxígeno para producir una molécula de CO₂. Dado que, básicamente, el aire contiene 20,9 por ciento de oxígeno y 79,1 por ciento de nitrógeno en volumen, cada molécula de oxígeno está acompañada por 3,78 moléculas de nitrógeno, que pasa a lo largo de la caldera sin cambio alguno. Por lo tanto, los gases de la combustión contienen una molécula de CO₂ y 3,78 moléculas de N₂, lo que significa que el CO₂ constituye el 20,9 por ciento del volumen total. Este valor se corresponde con el contenido de oxígeno en el aire y es correcto ya que todo el oxígeno en el aire se combina con carbono.

El carbono está situado en uno de los extremos de la escala de fuel con varias formas de carbón de coque y antracita cerca de este extremo aunque contienen algo de hidrógeno. Al otro extremo de la escala de combustibles normalmente usados en la industria encontraremos al metano CH₄, uno de los principales componentes del gas natural. Quemar metano significa combinar el carbono con oxígeno para formar CO₂, y el hidrógeno con oxígeno para formar agua. Una molécula de metano, dos moléculas de oxígeno y 7,56 moléculas de nitrógeno producen una molécula de CO₂, dos moléculas de agua y 7,56 moléculas de nitrógeno. A fin de reducir las medidas del gas a una base estándar, es práctica común considerar todos los análisis de humos a una base seca, para lo cual todo el vapor de agua es eliminado. Consecuentemente, cuando se quema metano, el CO₂ será el 11,68 por ciento del volumen total de los gases de combustión con el agua eliminada. Las ecuaciones que representan estas dos condiciones teóricas y extremas se indican en la figura 9-01. La mayoría de combustibles caerán entre estos dos límites, y el porcentaje de CO₂ entre 11,68 y 20,9 dependiendo del ratio hidrógeno-carbono de cada fuel.



ECUACIONES DE LA COMBUSTIÓN PARA CARBÓN Y METANO

Fig. 9-01

El termino "ratio hidrógeno-carbono (H-C)" se usa para indicar la relación entre el contenido de hidrógeno y de carbono en el fuel. Es la relación entre el hidrógeno y el carbono, ambos en peso. En consecuencia, el ratio H-C del carbono puro es cero y el del metano es 0,333. Ver datos en la figura adjunta 9-02

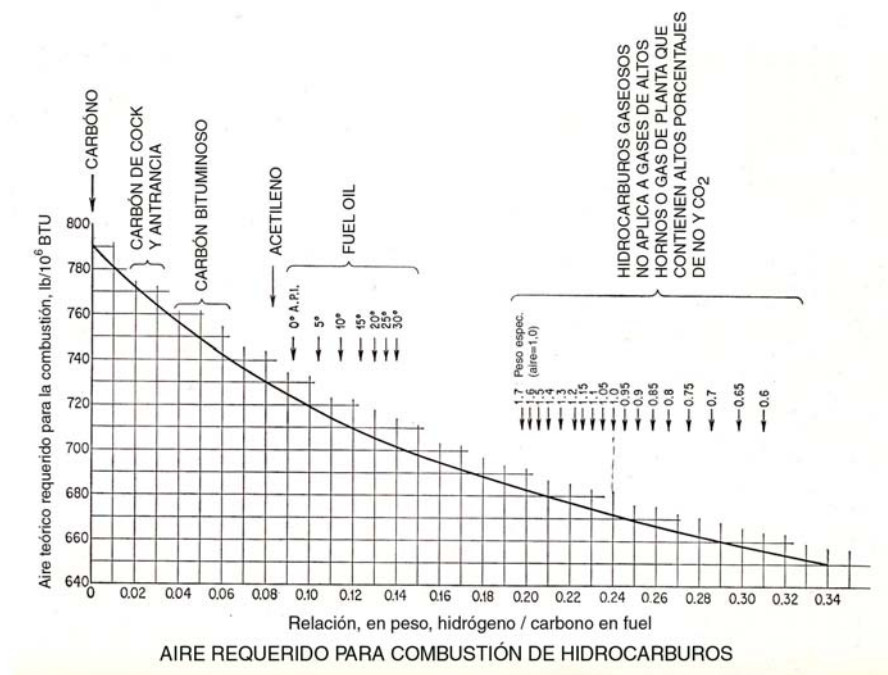
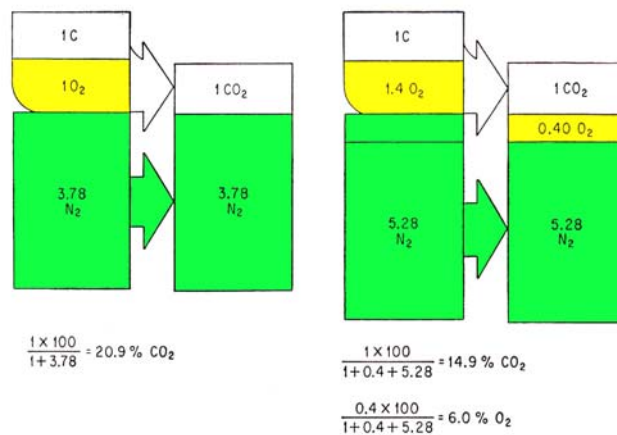


Fig. 9-02

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

En la figura 9-03 los valores indicados a la izquierda son los cálculos teóricos previamente mencionados sin tener en cuenta el hecho de que se requiere un exceso de oxígeno, o exceso de aire, para asegurar una combustión completa. Si, por ejemplo, se usa un exceso de aire del 40 % los porcentajes de oxígeno y nitrógeno deberán ser incrementados en un 40 %. Dado que solo la misma cantidad de oxígeno se usa para quemar el fuel, 0,4 moléculas de oxígeno y aproximadamente 5,28 moléculas de N₂ aparecerán en los gases de la combustión. Bajo estas condiciones, el contenido de CO₂ se reducirá al 14,9 %, pero un nuevo elemento, exceso de oxígeno en aproximadamente un 6 %, aparecerá en los gases.

Si hay una deficiencia de oxígeno, no todo el carbono se oxidará a CO₂ y aparecerá CO en los gases



COMPARACIÓN DE REQUERIMIENTO DE AIRE, TEÓRICO Y REAL

Fig. 9-03

de salida. La presencia de algún CO representa una pérdida real, ya que 1 kg de carbono quemándose a CO produce solo unas 2400 kcal, mientras que el mismo kilo de carbono quemándose a CO₂ produce 8000 kcal. Es decir hay una relación de 1 a 3,34 entre ambas producciones. El segundo átomo de oxígeno produce una mucho mayor producción de calor que el primero, por lo que insuficiente oxígeno causa una sustancial pérdida de calor.

Además, si no se dispone de suficiente oxígeno o la mezcla aire/fuel es insuficiente, los gases generados en la combustión se enfrían parcialmente por debajo de la temperatura de ignición (demasiado aire o paredes frías de los quemadores) y el proceso de combustión es incompleto. Los gases de escape aún contienen componentes inquemados, principalmente monóxido de carbono CO, carbono C, hollín e hidrocarburos varios C_xH_y. Dado que estos componentes son, junto con el NO_x, polutantes que dañan el medio ambiente, se deben tomar medidas para evitar o minimizar su formación.

La calidad de un sistema de combustión viene determinada por el porcentaje máximo de combustión completa, junto con un mínimo de exceso de aire.

En refinerías, plantas siderúrgicas y otras industrias durante muchos años se han quemado combinaciones de distintos tipos de fuel consistentes, en gran medida, en sub-productos de algunos procesos. Más recientemente, la tendencia de quemar varios tipos de fuel en lugar de un solo tipo se ha extendido a todo tipo de industrias. Los costos inusuales de algún tipo de combustible, escasez de carbón en otros casos y la poca disposición de quemar fueles líquidos o gaseosos bajo ciertas condiciones ó cargas han influenciado este cambio.

La figura 9-04 ilustra la relación entre O₂, CO₂ y exceso de aire para varios tipos de fuel. Este gráfico muestra que, para un determinado porcentaje de O₂, hay muy poca diferencia en el porcentaje de exceso de aire, incluso cuando el fuel cambia de carbón a gas natural. Cuando se quema gas, el porcentaje de exceso de aire debería ser menor que el necesario para el carbón, pero se pueden establecer fácilmente límites para mantener la lectura del oxígeno en el valor deseado para el fuel particular que se está quemando.

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

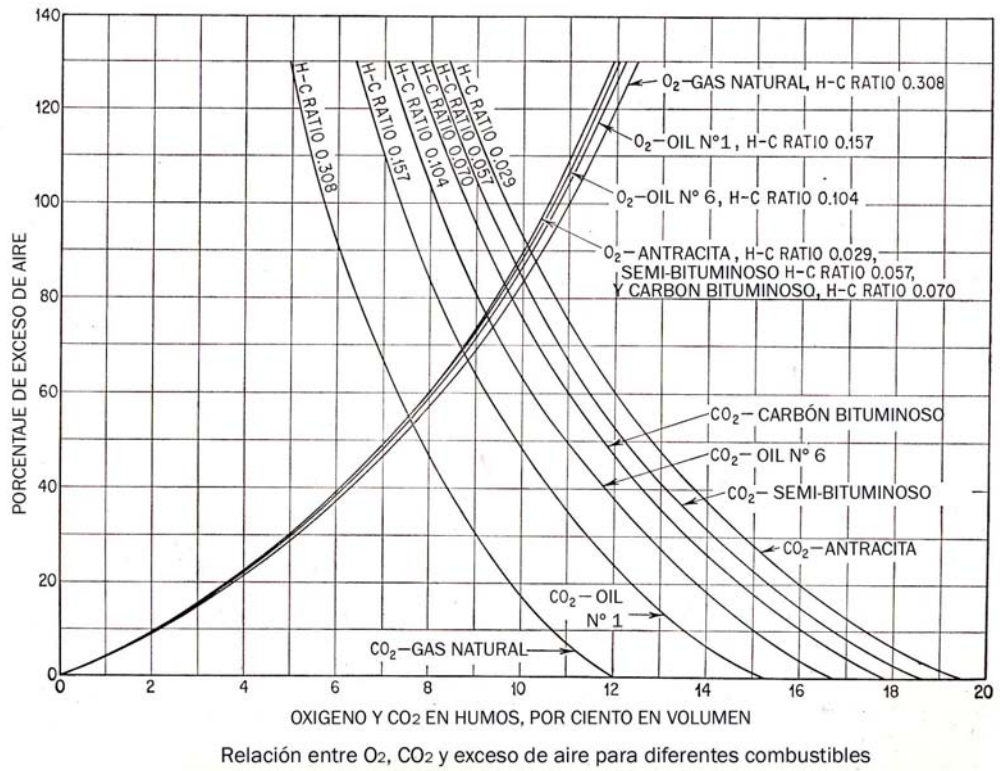


Fig. 9-04

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

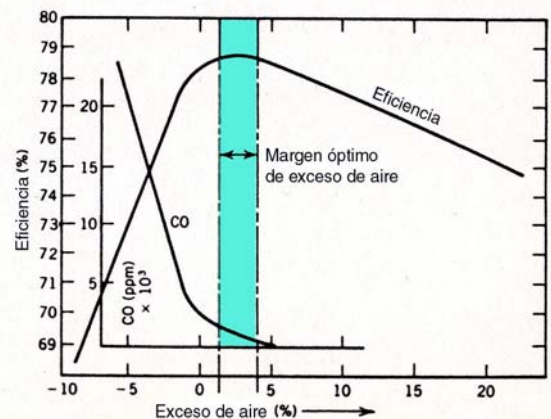
2 Control de combustión

2.1 Exceso de aire óptimo

En teoría, la combustión perfecta o estequiométrica ocurre cuando las moléculas del fuel reaccionan con las moléculas de oxígeno y no hay moléculas de fuel inquemadas o moléculas de oxígeno sin reaccionar. ¿Por qué es deseable funcionar en este punto?

Primero, hay obvios ahorros en los costos de combustible. Segundo, el aire contiene no solo el oxígeno necesario para la combustión del fuel, sino también aproximadamente un 79 % de nitrógeno y otros gases inertes que absorben calor. Estas moléculas del aire y las otras moléculas tales como dióxido de azufre, dióxido de carbono, agua y óxidos de nitrógeno formados en el proceso de combustión transportan calor fuera de la chimenea en forma de energía desperdiciada. Por lo tanto, cualquier cantidad de aire que exceda a la requerida para la combustión produce un incremento en la pérdida de calor y requiere fuel adicional para compensar esta pérdida de calor. Además, para las calderas o quemadores con tiro forzado, el aire de combustión es suministrado por un ventilador movido por un motor eléctrico o turbina, otra fuente de uso energético.

La relación entre calor producido o eficiencia de la combustión y el exceso de aire se indica en la figura 9-05. Idealmente, el pico de eficiencia se produce cerca del punto estequiométrico; en realidad se produce a un nivel un poco más elevado de exceso de aire. Se debe notar que operar a valores muy bajos, así como muy altos, de exceso de aire resulta en una pérdida de eficiencia. La pérdida de eficiencia a la derecha del pico se produce por un incremento del caudal de gases en la chimenea y el incremento en la temperatura de estos gases que acompañan al exceso de aire. La pérdida de eficiencia en la izquierda del pico se debe a la combustión incompleta del fuel.



RELACIÓN ENTRE EFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN Y EXCESO DE AIRE

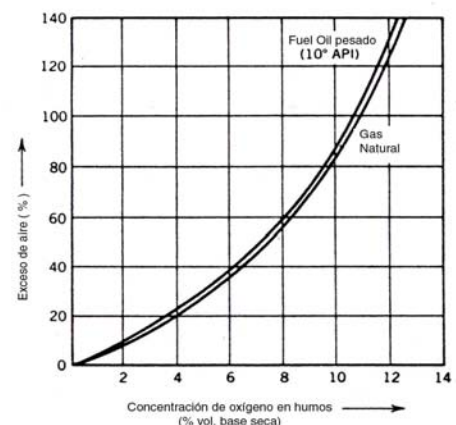
Fig. 9-05

También se aprecia en la figura 9-05 la curva de la relación entre el exceso de aire y la concentración de CO. El pico de eficiencia usualmente se produce con una concentración de CO en los humos generalmente inferior a 300 ppm. Una concentración de CO de unos 1.000 ppm resultará en una pérdida de eficiencia de alrededor del 0,5 %. Dado que la cantidad de inquemados emitidos se incrementa muy rápidamente con la reducción del exceso de aire, la eficiencia puede caer dramáticamente si el exceso de aire se reduce por debajo de su nivel óptimo.

El método estándar de medir el exceso de aire es medir la concentración de oxígeno en los humos en la chimenea o conducto de salida de gases. La relación entre el exceso de aire y el contenido en oxígeno de los humos, para varios tipos de fuel se indica en la figura 9-04, y resumidamente en la 9-06.

2.2 Inquemados

En calderas de gas la emisión de inquemados se produce principalmente en forma de CO. En el caso de combustibles líquidos la química de la combustión es algo más compleja. Se ha demostrado que un control



EXCESO DE AIRE / CONTENIDO DE OXÍGENO EN HUMOS

Fig. 9-06

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

basado en restringir el CO a veces funciona bien, mientras que otras veces se produce un humo muy denso sin que aparezca CO. Además el nivel de hidrocarburos en los gases a veces sufre un significativo incremento, mientras la opacidad y el nivel de CO en los humos permanecen relativamente bajos.

La curva característica de la relación CO/exceso de aire indicada en la figura 9-05 es similar para opacidad e hidrocarburos. Pero factores como la viscosidad y la temperatura de los gases, y no solo la opacidad, CO o contenido en hidrocarburos, pueden ser las variables que limiten la reducción del exceso de aire. Aún más, aumentar el exceso de aire ocasiona un aumento en la presencia de compuestos como SOx y NOx en los gases de la combustión. Ver figura 9-07.

En resumen, para equipos con gas como combustible, el límite en la reducción del exceso de aire es la aparición de CO en los humos. Para equipos quemando líquido cada uno de los parámetros CO, opacidad y presencia de inquemados puede poner un límite en la reducción del exceso de aire, dependiendo de las condiciones de operación. En tanto en cuanto las razones no están muy claras, parece que hay un acuerdo universal en que el proceso de la combustión no es simplemente la formación directa de CO₂ y agua. En general, también se acepta medir los inquemados en forma de CO equivalente ó COe.

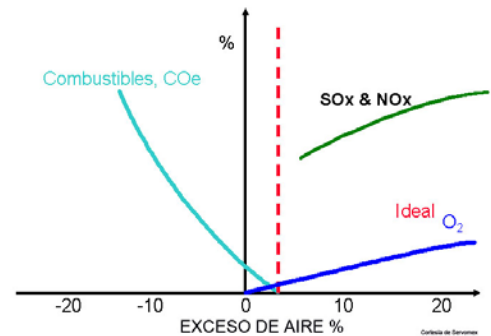


Fig. 9-07

Por otro lado, las curvas dibujadas en las distintas figuras presentadas corresponden a una condición fija ó estática del proceso de combustión. En la realidad, las calderas cambian de carga, las variables atmosféricas (temperatura, humedad) no son constantes. Es decir las condiciones de la combustión son variables. Lo que hace desplazarse la banda del margen óptimo de exceso de aire (Fig. 9-08) variando de forma significativa el origen (Punto crítico) de la curva del CO producido. Esto conlleva a la necesidad de una medida del CO ó COe en humos a niveles de concentración muy bajos a fin de poder determinar el denominado "Punto crítico".

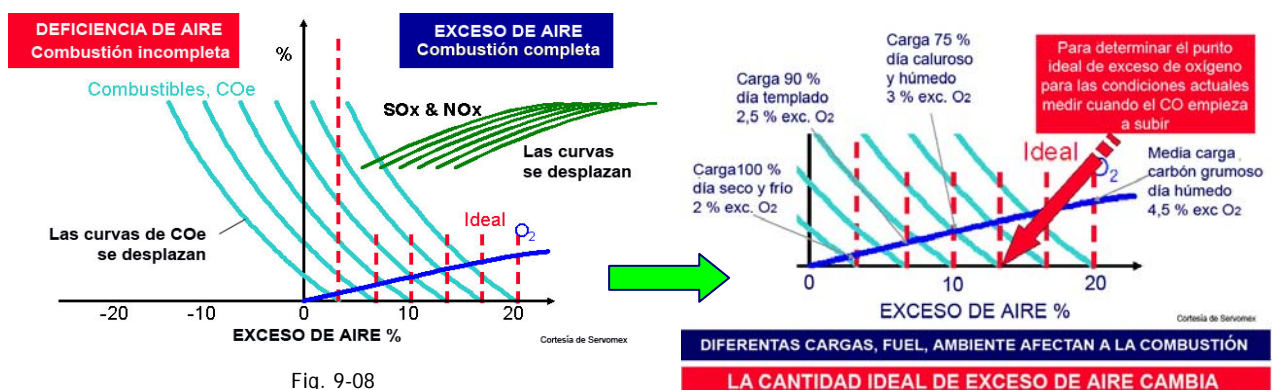


Fig. 9-08

De todo esto se deduce que las variables básicas para controlar la combustión es la medida del oxígeno y del monóxido de carbono presentes en los gases producidos.

2.3 Punto de rocío ácido

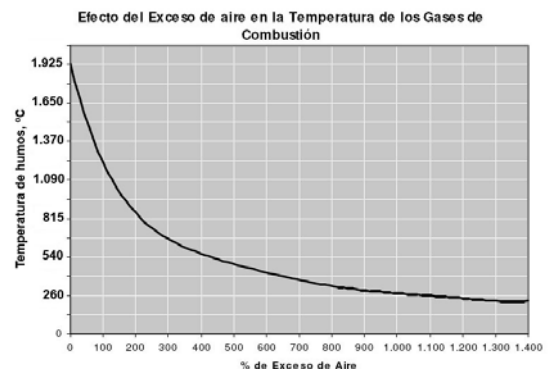
Además, por efecto de aumentar el exceso de aire, se produce un enfriamiento de los humos que puede ocasionar la condensación de ciertos componentes, de los que el más importante es al H₂SO₄.

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

Cuando el azufre que suele llevar el fuel se quema en cualquier proceso de combustión, el azufre se oxida formando SO_2 . Una pequeña cantidad de este SO_2 se oxida a SO_3 , que combina con el vapor de agua presente en los gases de la combustión formando ácido sulfúrico.

A temperaturas inferiores a $180\text{ }^\circ\text{C}$, el SO_3 libre se convierte en H_2SO_4 en presencia de concentraciones de agua superiores al 8 %

Predecir cuando este ácido puede condensar es difícil para ello la medida de la temperatura del punto de rocío ácido es la opción más práctica a fin de evitar alcanzarlo dados los efectos corrosivos del ácido sobre las partes metálicas de la instalación.



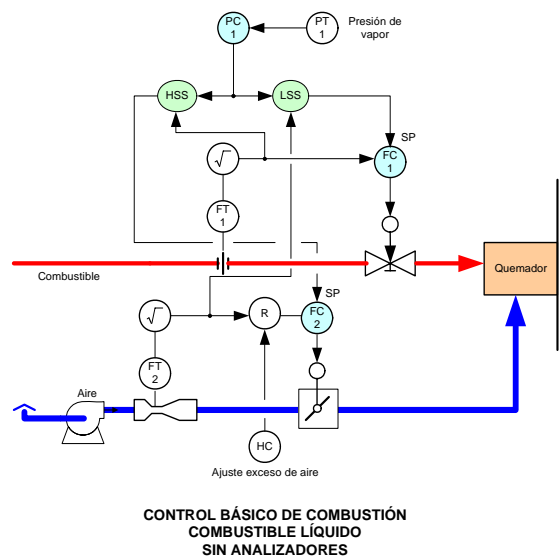
2.4 Lazos de control

2.4.1 Sin ayuda de analizadores

Resumiendo lo anterior, incluimos un ejemplo de sistema de control simplificado para la regulación de la combustión en una caldera de vapor. Para hacerlo más fácil, hemos considerado un solo combustible, fuel líquido, sin vapor de atomización, un solo quemador, aire de combustión forzado y ningún enclavamiento, en la forma esquemática más simple.

Y sin analizadores.

Hemos considerado que la variable global controlada es la presión del vapor producido. En función de dicha presión se ajusta el caudal del combustible y el del aire de combustión, con los mecanismos habituales para mantener siempre un exceso de aire: selectores de alta o baja señal (HSS y LSS) que dirigen la acción de control en el sentido adecuado: cuando hay que aumentar la producción de energía, primero se manda aumentar el caudal de aire, que a su vez, hace subir el caudal de combustible y viceversa, cuando hay que disminuir carga. Cualquier cambio en la composición del combustible (densidad o poder calorífico) se supone que acaba ajustándose por el conjunto caldera-sistema de control vía los cambios en la presión del vapor generado.



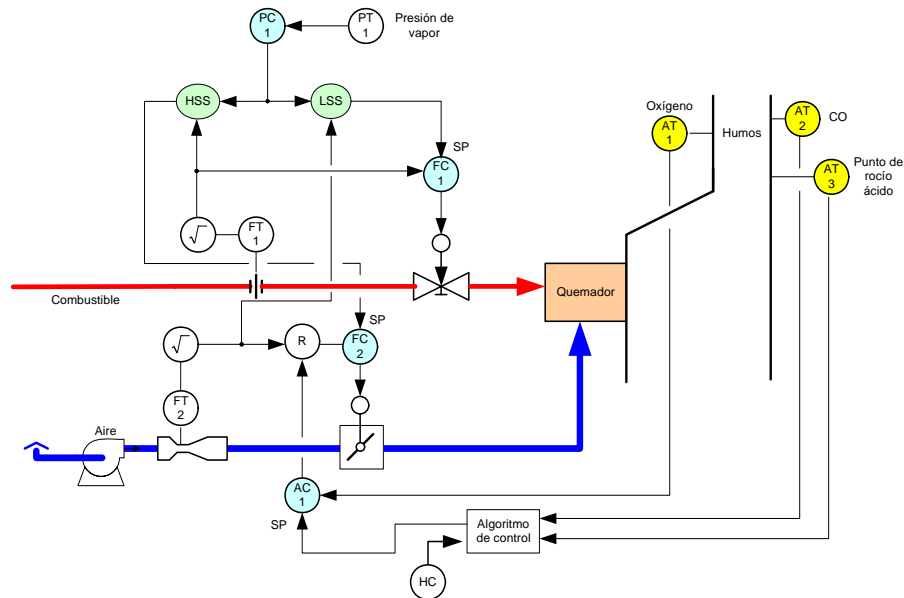
El exceso de aire se ajusta manualmente al valor que determine la calidad de los humos a simple vista, vía la estación manual HC y el relé de relación R.

2.4.2 Con ayuda de analizadores

En una primera fase se propone la instalación de analizadores que midan la concentración de oxígeno (AT-1) y monóxido de carbono (AT-2), así como temperatura del punto de rocío ácido (AT-3) en los gases a su paso por la chimenea. La medida del oxígeno se utiliza en un lazo de control que permite ajustar el ratio de exceso de aire, mediante el controlador AC-1 y el relé de relación R. Es decir se determina un punto de consigna con un porcentaje de oxígeno determinado y el controlador se ocupa de mantenerlo. Pero, aún más, el punto de consigna a su vez viene

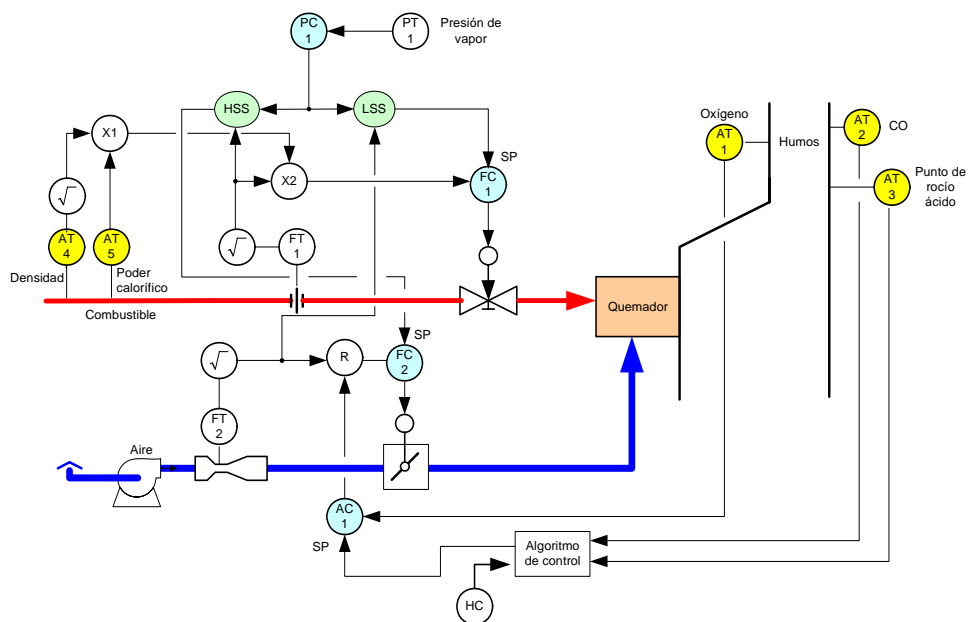
TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

determinado por un algoritmo de control que depende del contenido de CO (ó COe, inquemados) y de la temperatura del punto de rocío ácido. Si empieza a aumentar el contenido de CO, o se inicia su aparición a partir del punto crítico, se manda incrementar el exceso de aire. Si disminuye el punto de rocío ácido, se manda disminuir dicho exceso de aire. El algoritmo dependerá de la aplicación y características de la caldera.



CONTROL BÁSICO DE COMBUSTIÓN
COMBUSTIBLE LÍQUIDO
CON ANALIZADORES - FASE 1

En una segunda fase, y a fin de mejorar la dinámica del proceso de combustión, se propone la instalación de un medidor del poder calorífico del combustible. Si es líquido, como en el ejemplo, acompañado de un medidor de densidad. En el caso de combustible gas se recomienda un analizador de índice de Wobbe (ver tema T1.2.07)



CONTROL BÁSICO DE COMBUSTIÓN
COMBUSTIBLE LÍQUIDO
CON ANALIZADORES - FASE 2

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

De esta forma se corrige cualquier cambio en las características caloríficas del combustible antes de que la caldera responda en forma de cambio en la presión del vapor generado. Cada caldera tiene un determinado tiempo de respuesta (tiempo de respuesta del proceso). En algunos casos de calderas grandes, este tiempo es importante.

2.4.3 ¿Qué tipo de analizadores?

En la aplicación de analizadores en sistemas de combustión es uno de los tópicos donde la pregunta: ¿analizadores in situ ó sistema extractivo? tiene más actualidad.

Los primeros analizadores de oxígeno que se instalaron en este tipo de aplicaciones en la década de los 60 fueron paramagnéticos ó del tipo de celda electroquímica, con sistema de extracción de muestras y con cantidad de problemas derivados del sistema de transporte y acondicionamiento de muestras. Poco a poco se fueron imponiendo los analizadores de sonda de óxido de zirconio montados in situ. Hoy día, con todas sus variantes: sonda de difusión, extractivos de alto caudal ó extractivos de bajo caudal, son el tipo de analizador más usado, no solo en este tipo de aplicaciones de control de combustión, sino, probablemente, de forma absoluta en número de analizadores instalados en el mundo en todo tipo de industrias.

En la misma forma que los de oxígeno, los analizadores de CO que inicialmente se fueron empleando fueron del tipo de absorción de infrarrojos (NDIR), con exactamente el mismo tipo de problemas derivados del sistema extractivo de muestra y en desfase con la medida del oxígeno (si es medido con ZO_2). La aparición de sensores catalíticos que se pueden montar en la misma sonda de oxígeno, midiendo exactamente el mismo gas, cuando la sonda es del subtipo extractivo de alto o bajo caudal, ocasionó una migración a este tipo de elementos de análisis, usados en la actualidad extensivamente.

Otro tipo de analizadores de CO in situ son los basados en absorción de infrarrojos montados a través de la chimenea. Aparatos de alta precisión con serios inconvenientes de alineación, limpieza de la óptica, corrosión y vibraciones.

Recientemente han aparecido sensores catalíticos de lámina gruesa montados en sondas de oxígeno de sistema extractivo de bajo caudal que prometen un buen servicio y que describimos más adelante.

La medida de la temperatura de punto de rocío ácido se realiza con una sonda especial in situ cuya descripción se incluye también más adelante.

Para mayor información sobre analizadores de oxígeno y de infrarrojos en general remitimos a los temas T1-2-02 y T1-2-03.

Es importante notar que los sensores de CO de tipo catalítico son específicos para detectar CO, pero responden también a otros gases combustibles. El sensor se calibra usando CO, por lo que su señal de salida se debe expresar en términos de CO. Sin embargo, dado que el sensor detecta otros gases combustibles, la señal de salida, en pureza, no puede etiquetarse como contenido de CO. La respuesta del sensor a otros gases combustibles da una salida que es equivalente al sensor detectando CO. Por eso se usa el término COe para describir la salida de este tipo de sensores. Este término indica que el sensor está calibrado en términos de CO y que su salida es equivalente a CO, pero no es específico al CO.

2.5 Control de emisiones

En todo lo indicado hasta ahora nos hemos limitado exclusivamente a los equipos necesarios para controlar adecuadamente el proceso de la combustión, básicamente el exceso de oxígeno y sus limitaciones por la aparición de CO en los humos y, por otro lado, el punto de rocío ácido, para el buen funcionamiento y conservación del equipo, caldera o quemador. Pero, naturalmente, hay

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

otros conceptos que se deben tener en cuenta desde el punto de vista del control de la contaminación ambiental y de la composición de los gases que se vierten a la atmósfera.

Una consecuencia adicional al control desde el punto de vista de la marcha del proceso es que una buena combustión limita los componentes nocivos que se emiten: SO_2 , NO_x , inquemados, CO_2 , opacidad, cenizas, etc.

Independientemente de los analizadores instalados para el propio control de la combustión, los organismos oficiales requieren una limitación y una serie de información relacionada con la cantidad de polutantes que se envían a la atmósfera. En algunas instalaciones algunos de los analizadores específicos de control de combustión sirven, también, como medidores de las variables que se controlan desde el punto de vista del control de emisiones, lo que se denomina CEM: Continuous Emissions Monitoring.

En general las variables que se deben monitorear en sistemas de combustión son: O_2 , CO_2 , CO , SO_2 , NO_x , partículas, opacidad, caudal de humos y su temperatura.

En general, para los CEM's se han desarrollado sistemas extractivos, con líneas de transporte traceadas, condensación de agua para análisis en base seca, compresores de impulsión, lazos rápidos, filtros, sensores de humedad, etc. y analizadores multi-parámetro basados en NDIR para el análisis de CO y CO_2 , SO_2 y NO_x (a veces). Otras veces se usan analizadores independientes para SO_2 (Fluorescencia UV pulsante; tema T1-2-08) y NO_x (Quimiluminiscencia; tema T1-2-05)

El análisis de O_2 , generalmente se hace vía sonda ZO_2 in situ. A veces se incorpora al CEM un analizador de oxígeno del tipo paramagnético, especialmente cuando se requiere la medida en base seca. Algunos de los analizadores multi-parámetro pueden incorporar, adicionalmente, una celda electroquímica ó paramagnética para el O_2 .

Para descripción y detalles sobre CEM's ver tema T1-2-10.

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

3 Analizadores de proceso específicos

3.1 Oxígeno más quemados

3.1.1 Ametek Thermox, WDG - IV

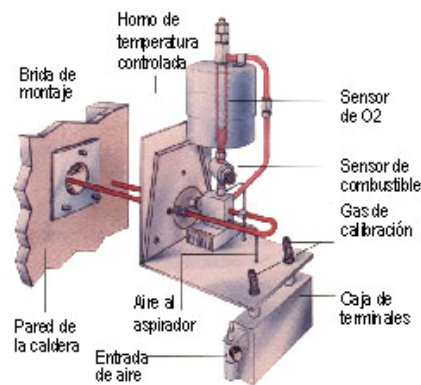
Este analizador de instalación in situ, se compone de una parte de medida y una unidad de control de la serie 2000.

A diferencia de las sondas de difusión, esta unidad de medida se instala localmente sobre la pared de la chimenea, pero el sensor no está situado en el interior del conducto de humos. Lo que hace es aspirar los gases por medio de un eyector neumático. Ello la hace adecuada para trabajar con gases de hasta 1.700 °C, húmedos, sucios y corrosivos, generalmente sin necesidad de filtrar o enfriar la muestra.

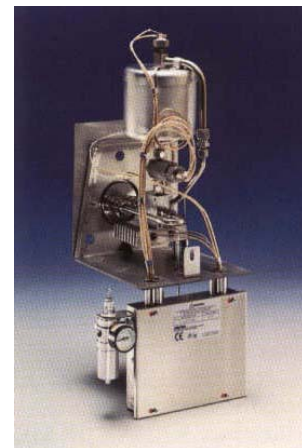
El conjunto de medida consiste en un horno a temperatura controlada, donde está instalado el sensor de óxido de zirconio, y un circuito calefactado de muestra. Este circuito está formado, básicamente, por un tubo en forma de U, donde hay instalado un eyector que aspira la muestra, la hace pasar por el tubo y la devuelve al proceso. De este tubo se deriva otro lazo donde está instalado el sensor en el interior del horno. Un pequeño caudal de muestra asciende constantemente hasta el sensor por convección térmica y, después, desciende hasta el tubo de retorno. Todas las superficies en contacto con la muestra se mantienen a 200 °C (o más, según aplicaciones).



Ametek - Thermox WDG-IV



Ametek-Thermox WDG-IV



Para aplicaciones de control de combustión se equipan con sensor de combustibles COe montado en el tubo de medida.

La salida de la sonda, se lleva, sin amplificación a la unidad electrónica. Esta unidad electrónica se fabrica de distintas configuraciones: desde montaje en rack de 19" a caja purgada y certificada para Zona 1.

3.1.2 Servomex, 2700C

En adición a los analizadores basados en paramagnetismo o sondas de óxido de zirconio, descritos en el tema T1-2-03, y sobre la base del modelo 790, Servomex ha desarrollado la sonda 2700C, también de óxido de zirconio para montaje in situ con sensor incorporado de COe basado en técnicas de capa gruesa.

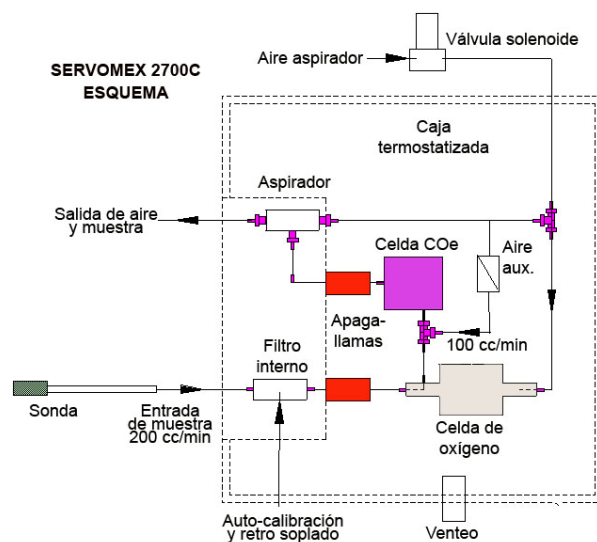
TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

Como todos estos analizadores, se compone de una unidad electrónica y el conjunto de sonda de medida que se montan separadas y a una distancia de hasta 100 metros (300 con solo sonda de O_2)

La sonda de medida se compone de un filtro y una cabeza sensora. La cabeza sensora está formada por una caja termostatazada, donde se aloja la parte analítica y una caja de conexiones eléctricas que incluye un sensor de temperatura para la compensación de la junta fría del termopar. La caja de la cabeza sensora se monta sobre la superficie externa del conducto de humos y contiene los sensores de óxido de zirconio y de CO , las apagallamas, el aspirador y el tubeado necesario.



El gas desde el proceso es continuamente aspirado, a bajo caudal, a través de un filtro de acero inoxidable sinterizado. El gas pasa a través de un apagallamas hasta el sensor de zirconio y desde allí, al sensor de COe y a través de otro apagallamas y del aspirador devuelto al proceso.



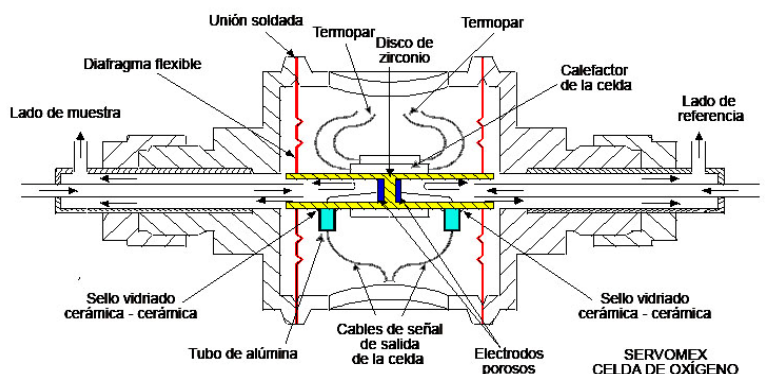
La muestra antes de entrar en el sensor de COe se diluye con aire de instrumentos.

3.1.2.1 Celda de oxígeno

El sensor de Óxido de zirconio cuando se calienta sobre los $600\text{ }^\circ\text{C}$ empieza a conducir iones de O_2 , como se ha visto antes. La conductividad de los iones aumenta exponencialmente con la temperatura.



SERVOMEX - CELDA DE ZIRCONIO



TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

El sensor consiste en un disco de Óxido de Zirconio estabilizado por Itrio montado en un tubo del mismo material. Las caras del disco están recubiertas con platino y el conjunto está montado en un pequeño horno tubular con temperatura controlada.

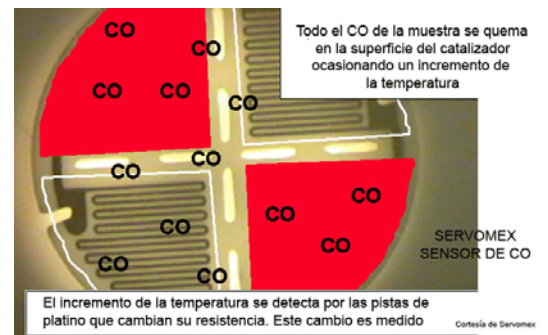
Cuando las dos caras del disco se exponen a gases conteniendo oxígeno, se forma una celda de concentración que genera una corriente eléctrica proporcional al logaritmo de la relación entre las concentraciones (presiones parciales) de oxígeno presentes en cada cara.

El hecho de que el contenido de oxígeno en el aire es prácticamente constante del 20.95 % lo hace conveniente para usarlo como gas de referencia, que se aplica a una de las caras, mientras que la muestra se aplica en la otra.

3.1.2.2 Celda de COe

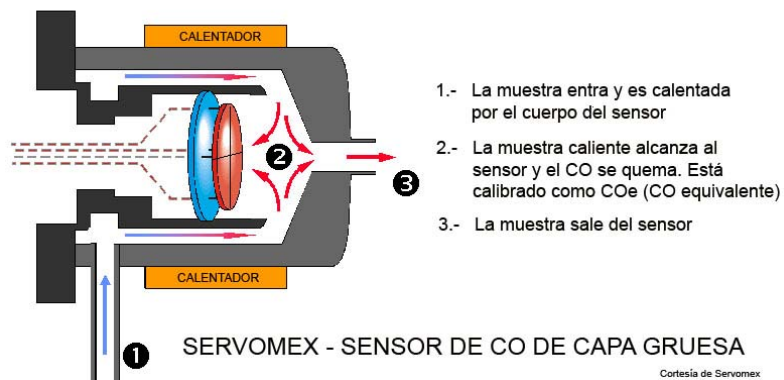
El sensor de COe es de tecnología de capa gruesa sensible que se basa en la reacción entre el CO de los gases de combustión y un disco cerámico recubierto de catalizador

El sensor consiste en un disco cerámico, cortado y mecanizado con láser, en el que se imprimen cuatro cuadrantes de pistas sobre el sustrato de zirconio usando tinta de platino. Cada cuadrante forma un brazo del circuito de un puente de Wheatstone; el circuito y las pistas de platino se protegen con un recubrimiento de vidrio glaseado.



Sobre dos cuadrantes opuestos, dos brazos opuestos del puente, hay aplicada una capa de catalizador.

La celda está calentada y controlada precisamente a 300 °C. Cualquier molécula de CO en la muestra se quema totalmente en la superficie del material catalítico calentando las pistas de platino y disminuyendo su resistencia, desequilibrando el puente e induciendo una corriente en el circuito que es proporcional a la concentración de CO en la muestra. Como la temperatura de la celda está controlada, el aumento de temperatura de las pistas de platino es proporcional a la cantidad de CO presente en la muestra.



Esta tecnología ofrece un rango de medida de 50 a 1.000 ppm con una precisión de ± 25 ppm en el rango de 0 a 500 ppm y la ventaja de la robustez del diseño. Los efectos de las posibles fluctuaciones en el caudal de la muestra se compensan ya que los cuadrantes de medida y de referencia se encuentran en la misma corriente de muestra.

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

3.1.3 Roemount Analytical (Emerson) OCX-8800

Este analizador está diseñado para medir la concentración de oxígeno y COe en gases de combustión a temperaturas hasta 1427 °C y adecuado para montar en áreas eléctricamente clasificadas como Clase 1, Zona 1, IIB+H2, T3/T6 y con las características generales siguientes:

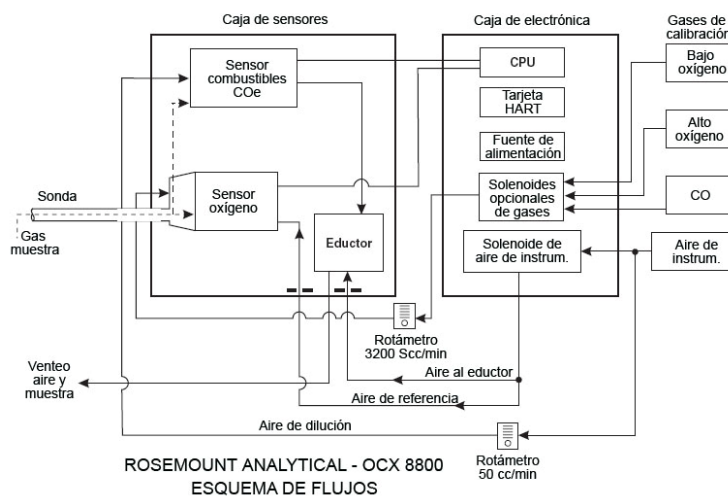


EMERSON OCX-8800

- El equipo incorpora de forma estándar comunicación HART
- La celda de oxígeno y el conjunto de termopar y calentador son reemplazables en campo
- La electrónica esta configurada para aceptar voltajes de 90 a 240 V c.a. y 50 a 60 Hz
- Rangos de medida: Oxígeno: 0-1 a 0-40 %; Combustibles: 0-1000 ppm ó 0-5 %

Los sensores y la electrónica están alojados en cajas separadas, pero que pueden ir unidas en montaje común. La caja del sensor y la sonda se montan sobre la pared del conducto de humos de forma que la sonda penetra en la corriente de gases de combustión. Un eductor actuado por aire de instrumentos aspira continuamente la muestra de la corriente de gases de combustión a través de la sonda hasta el sensor de O₂, desde donde pasa al de COe. Se suministra aire de dilución al sensor de COe y aire de referencia a la celda de oxígeno.

La caja de electrónica contiene las tarjetas de CPU y HART que convierten las señales de los sensores en señales de salida 4-20 mA. La CPU también puede iniciar las maniobras de calibración. Hasta tres gases de calibración o prueba pueden manejarse por medio de válvulas solenoides. El caudal de gas de calibración a los sensores se regula por un rotámetro. El aire de instrumentos se separa en tres corrientes: aire al eductor, aire de referencia y aire de dilución. Las válvulas solenoides no permiten el paso de gas hasta que el conjunto no esté a la temperatura de operación a fin de evitar condensación.



El sensor de oxígeno es una celda óxido de zirconio clásica. La celda de combustibles es un sensor catalítico consistente en dos RTD's. Una RTD es el elemento de referencia recubierto de una capa inerte. La otra RTD es el elemento activo, recubierto de una capa de catalizador. Cuando la muestra llega al sensor, los gases combustibles se oxidan en la superficie del elemento activo. La oxidación produce calor que eleva su temperatura. La diferencia de temperatura produce un

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

desequilibrio entre la resistencia eléctrica de los dos elementos que es directamente proporcional a la concentración de combustibles en la muestra. Su suministra aire de dilución al sensor de COe a fin de asegurar que hay siempre el oxígeno necesario para la oxidación completa de los gases combustibles independientemente de su concentración y la del oxígeno en la muestra.

3.1.4 ABB, Smart Analyzer 90, tipo SMA

El tipo SMA, Smart Analyzer 90 es un analizador continuo de gases de combustión. El tipo SMA1 mide solo oxígeno. El tipo SMA2 mide oxígeno y monóxido de carbono equivalente, COe.

Está basado en microprocesador y diseñado para procesos de combustión con gas, líquido o carbón

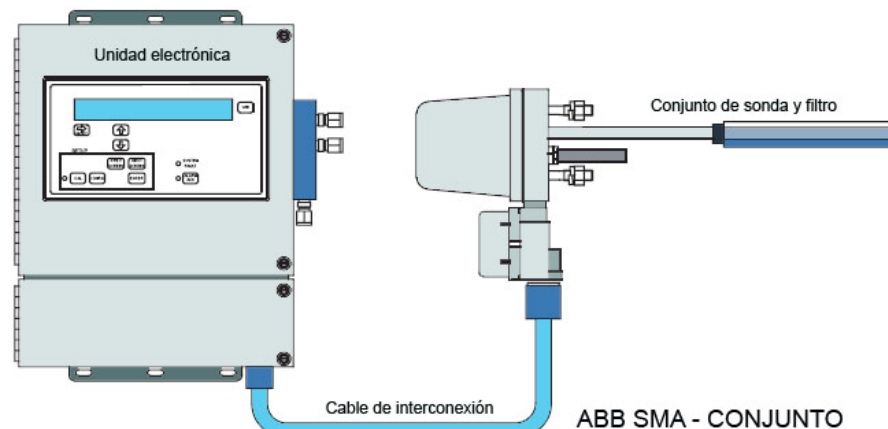
El analizador consiste en una caja que contiene el conjunto de sensores, sonda con filtro, caja de electrónica y cable de interconexión. Como accesorios estándar incluye inicio automático y remoto de calibración, medida de las temperaturas de entrada y salida para cálculos de eficiencia de combustión, relés de alarma y señales analógicas aisladas.



La caja de sensores incorpora brida de montaje sobre el conducto de humos o chimenea de forma que la sonda con filtro incorporado se introduce en la corriente de gases. A través de esta sonda se aspira una corriente de muestra que es analizada por el conjunto de sensores. Las señales de salida de los sensores se llevan, vía el cable flexible de interconexión a la caja de electrónica para su interpretación y amplificación.

Por medio de un educador neumático se crea una presión de aspiración que lleva la muestra a través de un filtro tipo flexible "floppy" patentado. Su movimiento de oscilación filtra el gas de proceso y rechaza las partículas

La muestra es analizada a alta temperatura, en base húmeda, manteniendo todas las partes metálicas a temperaturas superiores a la del punto de rocío de la muestra. De esta forma se evita que los vapores ácidos puedan condensar en las superficies en contacto con la muestra. Una vez en la caja de sensores, la muestra se divide a través de dos pasajes calefactados. Uno de los pasajes lleva la muestra hasta un sensor de óxido de zirconio para analizar su contenido de oxígeno. El sensor de O2 lleva incorporado una resistencia calefactora para regular su propia temperatura. El otro pasaje lleva la muestra al sensor catalítico de COe, donde se analiza el contenido en combustibles. Antes del sensor la muestra pasa a través de una cámara de precalentamiento donde se le añade un caudal constante de aire de dilución a fin de asegurar una medida de combustibles repetible y fiable.



TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

El sensor de COe consiste en dos RTD. Un RTD actúa como referencia. El otro está recubierto con catalizador que oxida o quema los combustibles en su superficie. El aumento de temperatura del RTD catalizado, en relación con el RTD de referencia es función de la concentración de COe en la muestra de gases analizada.

El conjunto de electrónica, montado en una caja IP65, incorpora la arquitectura basada en microprocesador necesaria para monitorear las calibraciones de los sensores, señales I/O e interface con el operador. Esta electrónica controla la temperatura del conjunto de sensores y del bloque de medida de COe. Las señales de bajo nivel originadas por los sensores de O₂ y COe son amplificadas a 4-20 mA ó 1 a 5 Vcc.

De forma estándar el equipo dispone de cuatro señales de salida analógicas representativas de O₂, COe, temperatura de entrada/salida y eficiencia de la combustión. Además, incorpora seis contactos de alarma para medidas de O₂, COe, temperatura de humos, eficiencia de combustión, fallo de analizador y calibración en progreso.

La electrónica acepta dos entradas de termopar exterior para las temperaturas de entrada de aire de combustión y gases de salida. También acepta cuatro entradas digitales para calibración remota, mando de soplado, gas de cero y gas de span. La interface con el operador consiste en una pantalla fluorescente con dos líneas de 40 caracteres cada una.

3.1.5 LAND, Series 9000

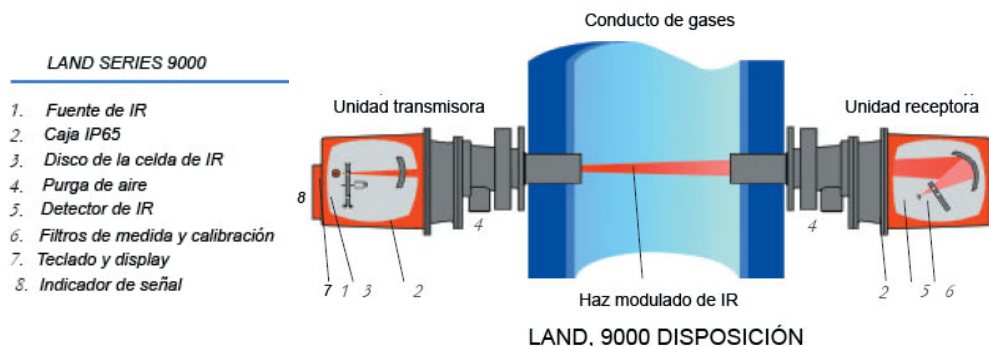
Como complemento a las descripciones de analizadores de absorción de infrarrojos del tema T1-2-02 incluimos la de un analizador de monóxido de carbono in situ, de montaje directo en el conducto de humos. Varias marcas disponen de analizadores de este tipo. Como ejemplo de este tipo de analizadores describimos el correspondiente a la serie 9000 de Land Combustión



Este analizador, incluido en la línea de instrumentos de Monitorización de la Eficiencia de la Combustión de Land, es un medidor de CO basado en la absorción por este gas de una radiación de infrarrojos NDIR. Esta serie 9000 se compone de los modelos 9100 y 9200 Mk II (de mejores prestaciones)

El equipo costa de una unidad transmisora y una unidad receptora que se montan en puntos diametralmente opuestos del conducto de gases, a una distancia (diámetro del conducto) de 0,5 a 10 metros y sobre bridas de 3", 150 lbs.

El rango de medida es de 0 a 10.000 ppm con una resolución de 1 ppm



TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

La radiación es emitida por una fuente de infrarrojos situada en la unidad transmisora. El haz es modulado al pasar sucesivamente a través de las celdas de medida y referencia montadas en un disco que se interpone a la radiación y después cruza el conducto de humos que contiene CO y es recibido por un detector altamente sensible. Este detector mide la atenuación de la radiación y la convierte en una señal de salida que corresponde con la concentración de CO en los humos en todo el ancho del conducto.

A fin de evitar los problemas de ensuciamiento de las ópticas, que ocasionarían pérdidas en la radiación y problemas de mantenimiento, el equipo dispone de un sistema avanzado de purga, que suministra un flujo laminar de aire que presuriza las unidades y evita la entrada de gases y suciedad.

El modelo 9200 Mk II incorpora, adicionalmente al 9100, de forma estándar las características siguientes:

- Calibración en camino abierto
- Detección automática de fugas en la celda
- Cuatro celdas de medida. Técnica de medida aprobada por TÜV
- Corrección automática de la presión del conducto de humos

3.2 Punto de rocío ácido.- Analizador Land Combustión, modelo 440

3.2.1 Principio de funcionamiento, técnica de la celda de conductividad

Una película ácida, tal como la formada por el ácido sulfúrico, es una buena conductora de la electricidad. Si una superficie a la que hay conectados dos electrodos se introduce en un gas que contenga vapores de ácido sulfúrico, cualquier condensación que se forme sobre la superficie será enseguida detectada por medio de una corriente que fluirá entre los electrodos.

Un monitor de la temperatura del punto de rocío comprende una sonda de acero inoxidable, para soportar los efectos de la corrosión por el ácido, con una celda de conductividad (detector) montada en su punta. El detector contiene dos electrodos que detectarán cualquier deposición de ácido. La temperatura del detector se controla por medio de un flujo de aire dirigido a su superficie interna por medio de tubo que corre por el interior de la sonda.

El flujo de aire es controlado de forma automática. Cuando la sonda se inserta en la corriente de gases y se aplica el flujo de aire, la temperatura del detector disminuye hasta un punto en el que el ácido sulfúrico empieza a condensar en forma de una fina película sobre la superficie del detector. El ácido condensado causa que fluya corriente entre los dos electrodos. Esta corriente es monitoreada y el caudal de aire se ajusta electrónicamente de forma que se mantenga una corriente estable entre los electrodos.

Cuando la corriente es constante, la cantidad de ácido que condensa es igual a la que se evapora. El ratio de condensación es igual al de evaporación. La temperatura a la que esto ocurre es la temperatura del punto de rocío ácido (ADT) que es una medida directa sin requerir ninguna referencia o calibración. La temperatura se mide por una sonda de termopar integrada en la superficie de la celda conductiva.

3.2.2 Componentes del analizador

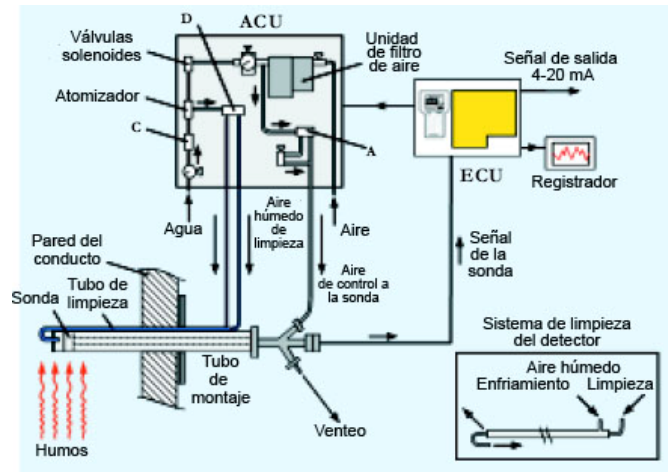
El conjunto analítico comprende una sonda de acero inoxidable, un tubo de montaje, una unidad de control electrónico (ECU) y una unidad de control del aire (ACU). El límite de temperatura de los gases de combustión es 400 °C.

La unidad de control del aire ACU aloja el resto del sistema de limpieza del detector así como el regulador motorizado de flujo de aire (MAFR) que controla el caudal de aire de refrigeración al



LAND - 440 - COMPONENTES

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN



LAND COMBUSTION 440
ESQUEMA DEL SISTEMA

detector (mandado por señales desde la ECU). A la unidad ACU se debe conectar una alimentación de aire y agua directamente.

La unidad de control electrónico ECU procesa las señales del termopar y de los electrodos del detector y proporciona una lectura del valor de la temperatura del punto de rocío ácido ADT. La ECU también controla la operación, tanto del MAFR como del sistema de limpieza del detector.

3.2.3 Potencial corrosivo de los gases de combustión

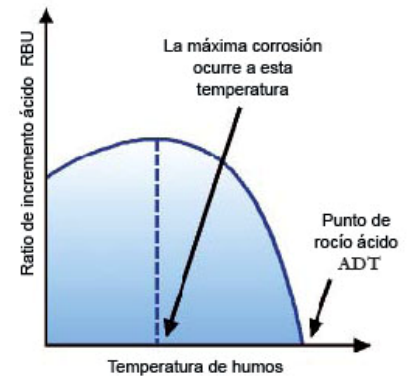
Se puede calcular el potencial corrosivo de los humos a base de medir el ratio de incremento ácido (RBU) a temperaturas inferiores a la del punto de rocío ácido. Un análisis gráfico de RBU vs. temperatura puede identificar el pico de la relación a una determinada temperatura.

El ácido sulfúrico se forma a partir del SO_3 libre en los gases. La concentración de SO_3 puede suministrar una indicación similar del potencial corrosivo. La relación directa entre un incremento en ADT con un incremento en ácido sulfúrico se puede aplicar similarmente a la concentración de SO_3 .

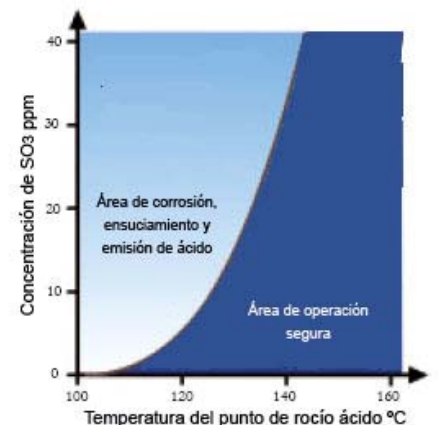
Adicionalmente, el monitor de punto de rocío puede calcular (usando parámetros de temperatura definidos por la planta) una temperatura mínima de metal (MMT) para indicar la temperatura más baja a la que los gases pueden estar en contacto con las partes metálicas de la instalación sin ningún efecto corrosivo.

En función de la ADT la unidad electrónica también calcula y suministra la información siguiente:

- Ratio de incremento de ácido (RBU)
- Temperatura mínima de metal (MMT)
- Cantidad de SO_3 para inventario de vertido tóxico
- Eficiencia de la combustión



RELACIÓN ENTRE RBU Y TEMPERATURA



RELACIÓN ENTRE SO_3 Y PUNTO DE ROCÍO ÁCIDO

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

4 Mantenimiento

4.1 Calibración

Excepto el de temperatura de punto de rocío ácido -que no se calibra- estos analizadores deben ser calibrados con muestras gaseosas preparadas en laboratorio. Es decir con cilindros de gases especiales preparados por un fabricante competente.

En general el span de oxígeno se calibra con una mezcla de O_2 en N_2 La concentración de oxígeno dependerá del rango de medida. En algunos casos se puede utilizar aire de instrumentos. Consultar las instrucciones del fabricante.

Para la calibración del span de los medidores de CO se debe usar una mezcla de gases con una concentración adecuada de CO equivalente al 70 ú 80 % del rango máximo a medir. Previa consulta de viabilidad al fabricante de gases se puede usar una mezcla de O_2 y CO en las cantidades adecuadas en N_2 que permita el ajuste del span, tanto del oxígeno como del monóxido de carbono.

En general el cero se calibra con nitrógeno.

4.2 Mantenimiento

En general este tipo de analizadores montados in situ requiere un cierto grado importante de mantenimiento. Básicamente limpieza y revisión de posibles efectos adversos por corrosión. Pocos esfuerzos se pueden hacer para mejorar las condiciones de trabajo, excepto retro-soplados con aire o vapor.

Cuando las sondas incorporan filtros y siempre que las condiciones del proceso lo permitan hay que revisar el estado de estos filtros. En muchos casos, lamentablemente, solo cuando hay parada de planta.

En general el mantenimiento preventivo deberá realizarse siguiendo escrupulosamente las recomendaciones específicas del fabricante respectivo.

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

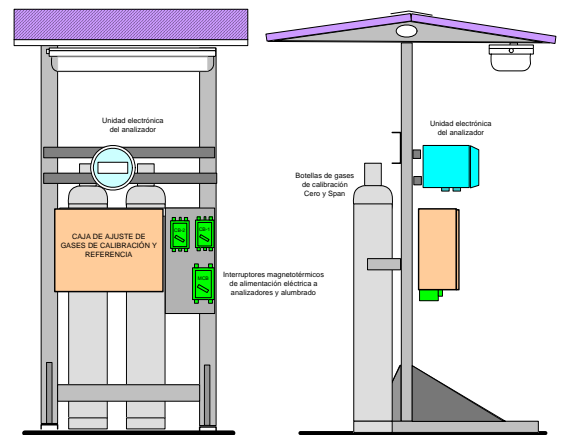
5 Consideraciones de instalación y tratamiento de muestras

5.1 Instalación

Aparte de su idoneidad para la aplicación analítica, cada analizador debe ser seleccionado en función del sitio donde se tiene que instalar. En principio este tipo de analizadores in situ se fabrican en ejecución estanca (IP65, en general), algunos aptos para áreas clasificadas. En general el sitio donde se montan las unidades in situ (plataformas de chimenea, etc.) no suele ser área clasificada.

Es típica la instalación de las unidades electrónicas -cuando van separadas y la distancia lo permite- en un rack a nivel del suelo en la base de la chimenea o conducto de humos correspondiente. En este caso hay que cuidar la clasificación eléctrica de ese sitio.

Se debe evitar la instalación en zonas donde se puedan encontrar vibraciones de tipo mecánico



ANALIZADOR DE OXÍGENO Y CO₂
RACK DE UNIDAD ELECTRÓNICA Y GASES

5.2 Tratamiento de muestras

Este tipo de analizadores no requiere, por su propia naturaleza, ningún tipo de tratamiento de muestra. Solo hay que dedicar un pequeño esfuerzo de diseño para los gases de referencia y calibración y fluidos de limpieza, que deben ser mantenidos a presión adecuada al uso y con caudales ajustados según requisitos del fabricante del analizador respectivo.

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

6 Especificaciones

6.1 Ametek-Thermox WDG-IV

6.1.1 Sonda

Principio de medida:	Celda de óxido de zirconio, montaje local con extracción de muestra.
Rango de medida:	0,1 a 100 % O ₂
Rango de salida:	De 0 -1 hasta 0 - 100 % O ₂
Precisión:	± 2 % de la lectura ó ± 0,1 % O ₂ . El más grande.
Tiempo de respuesta:	El 63 % de un cambio en escalón en < 3 segundos
Aire al aspirador.	4,7 a 9,4 litros / minuto de aire con una presión entre 1 y 7 barg.
Temperatura de gases:	Hasta 704 °C con sonda AISI 304 Hasta 1024 °C con sonda RA330 Hasta 1426 °C con sonda de cerámica Hasta 1760 °C con sonda de alúmina
Longitud:	De 910 mm. hasta 2700 mm. en Inox. o RA330 De 600 mm. hasta 1050 mm. con cerámica o alúmina
Punto de rocío de los gases:	Máximo 232 °C como estándar. Opcionalmente hasta 370 °C
Presión de los gases:	Hasta 0,14 barg. Sin ajustes De 0,14 hasta 0,63 barg. Ajustable por software. Más de 0,63 barg. Consultar al fabricante.
Temperatura ambiente:	-20 a + 70 °C (-20 a + 60 °C con la opción de Div. 2)
Humedad ambiente:	10 a 90 % humedad relativa. Sin condensación.
Caja:	Propósito general. Acero inoxidable. Opcionalmente ejecución a prueba de explosión ó purgada.
Alimentación eléctrica:	115 o 220 ± 10 %; 47 - 63 Hz. Consumo: 1263 VA.
Gases de calibración:	Presión: 0,7 barg; Consumo: 500 a 900 cc /min. Gas de span O ₂ : Aire u O ₂ en N ₂ (1,0 a 100 % O ₂) Gas de cero O ₂ : 2 % de O ₂ ó 0,1 a 10 % O ₂ en N ₂

6.1.2 Unidad de control Serie 2000

Display:	Cuatro líneas de 20 caracteres, Presenta combinaciones de concentración de O ₂ , fecha y hora, temperatura de la celda de medida, texto configurado por usuario, mV de termopar ó mV de la celda.
Señales de salida:	Dos señales aisladas en corriente que pueden representar O ₂ , temperatura de la celda, mV del termopar ó mV de la celda. Cada salida puede ser: 4-20 mA, 0-20 mA, 20-4 mA ó 20-0 mA. Carga máxima 1200 Ω.
Alarmas:	Dos alarmas independientes de concentración de oxígeno, seleccionables alto o bajo. Una de ellas puede configurarse como O ₂ , en calibración o en verificación.
Diagnostico:	Alarmas de servicio y malfunción

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

Comunicaciones:	RS485, bi-direccional.
Temperatura ambiente:	-10 a +50 °C
Humedad ambiente:	10 a 90 %, sin condensación
Cumplimento CE:	Cumple directivas 89/336 y 72/23.
Caja:	Diversas versiones; desde montaje en rack 19" hasta versiones a prueba de explosión.
Alimentación eléctrica:	95 - 230 V ± 10 %, 47 - 63 Hz

6.2 Servomex 2700C

Gas medido oxígeno

Tecnología:	Óxido de zirconio
Rango mínimo:	0 - 1 % O ₂
Exactitud:	± 1 % de la lectura ó ± 0,1 % O ₂
Resolución:	0,01 % O ₂
Tiempo de respuesta T ₉₀ :	< 12 segundos
Tiempo típico entre calibraciones:	12 meses

Gas medido: combustibles (COe)

Tecnología:	Sensor catalítico de capa gruesa
Opciones:	Alta sensibilidad (1750/702); Alto rango (1750/703)
Rango mínimo:	0 - 500 ppm (1750/702); 0 - 1500 ppm (1750/703)
Exactitud:	± 25 ppm ó ± 5 % de la lectura (1750/702) ± 75 ppm ó ± 5 % de la lectura (1750/703)
Resolución:	1 ppm (1750/702); 10 ppm (1750/703)
Tiempo de respuesta T ₉₀ :	< 20 segundos (ambas opciones)
Tiempo típico entre calibraciones:	2 meses (ambas opciones)
Señales de salida:	Una señal analógica aislada configurable 4-20 mA para cada variable medida (carga: 600 ohmios o menos) La salida de O ₂ es configurable entre 0-1 % y 0-25 % O ₂ , en pasos de 1 % La salida de COe es configurable entre 0-500 a 0-15.000 ppm
Alarmas y relés:	Cuatro contactos de relés (3 A, 220 V c.a. ó 1 A, 28 V c.c.) configurables para alarmas de concentración, fallo, calibración y retrosoplado y válvulas solenoide para retrosoplado y autocalibración
Entradas digitales:	Dos entradas digitales no aisladas para iniciar el retrosoplado y la autocalibración
Protección de la caja:	IP66 / NEMA 4
Peso:	Unidad de control: 11 kg; cabezal de sensor detector dual: 17 kg
Montaje:	Cabezal sensor: montaje en pared con varios tipos de bridas, sondas y adaptadores. Brida estándar: 4" ANSI. Unidad de control: montaje en pared, panel o rack de 19"

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

Distancia entre sonda y control:	300 metros con solo sensor de oxígeno. Solo COe ó con dos sensores: 100 metros
Clasificación eléctrica:	
Unidad de control:	Europa: ATEX Grupo II, categoría 3, Gases y polvos (Zona 2) USA: Clases I y II, División 2 y Clase III, Divisiones 1 y 2 Canadá: Clase I, División 2, Clase II, División 1 y Clase III, División 1
Cabezal sensor:	Europa: ATEX Grupo II, Categoría 3, Gases (Zona 2) con purga aprobada USA: Clases I y II, División 2 y Clase III, Divisiones 1 y 2 con purga adecuada
Certificaciones:	TÜV y notificación de BMU a los requisitos de BImSchV 13 (gran planta de combustión) y 17 (incineración de residuos y procesos similares)
Temperatura ambiente:	Cabezal sensor: -20 a +70 °C. Unidad de control: -10 a +55 °C
Altitud:	2000 metros como máximo

6.3 Rosemount Analytical, OCX-8800

Rangos de medida:	Oxígeno: 0 - 1 % a 0 - 40 %, seleccionable en campo. Combustibles: 0 - 1000 ppm a 0 - 5 %, seleccionable en campo
Exactitud:	Oxígeno: ± 0,75 % de la lectura ó 0,05 % O ₂ (el más grande). Combustibles: ± 2 % del rango
Respuesta gas de prueba, T ₉₀ :	Oxígeno: 10 segundos, combustibles: 25 segundos
Límites de temperatura:	Proceso: 0 a 1427 °C. Caja del sensor: -40 a 100 °C, ambiente. Caja de electrónica: -40 a +65 °C ambiente, -40 a +85 °C en el interior de la caja
Humedad ambiente:	5 a 95 %, sin condensar
Peso:	Paquete con sonda de 457 mm: 20 kg Con sonda de 910 mm: 20,5 kg Con sonda de 1830 mm: 21 kg Con sonda de 2740 mm: 22 kg
Montaje:	Sonda: sobre brida. Electrónica: Sobre pared o tubería
Material:	
Sonda:	Acero inoxidable AISI 316 para temperaturas hasta 704 °C; Inconel 600 hasta 1000 °C y Cerámica hasta 1427 °C
Cajas:	Fundición de aluminio baja en cobre
Calibración:	Semi automática ó automática
Gases de calibración:	0,4 % O ₂ en nitrógeno; 8 % O ₂ en N ₂ ; 1000 ppm CO en aire
Caudal de gas de calibración:	0,5 l/min
Aire de referencia:	1 l/min de aire limpio y seco, calidad de instrumentos regulado a 2,4 barg
Aire al eductor:	2,5 l/min de aire limpio y seco, calidad de instrumentos, regulado a 2,4 barg

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

Aire de dilución:	0,5 l/min de aire limpio y seco, calidad de instrumentos, regulado a 2,4 barg
Aire de retrosoplado (opcional):	Aire de instrumentos regulado a 3,7 barg
Cajas:	Sensores: IP55 / NEMA 4, con dos entradas 3/4" F.NPT Electrónica: IP66 / NEMA 4 con dos entradas 3/4" F.NPT
Certificaciones, ruido:	EN 61326-1; EN61000-3-2; EN61000-3-3
Clasificación eléctrica:	ATEX II 2G EEx d IIB + H ₂ , T3/T6 AEx d IIB + H ₂ T3/T6
Alimentación eléctrica:	100 - 240 V c.a. ± 10 %, 48 - 62 Hz
Consumo:	Calentadores: 750 W. Electrónica: 50 W
Señales de salida:	Dos 4-20 mA: O ₂ y COe. La de O ₂ con capacidad HART, ambas con carga máxima de 950 ohmios.
Alarmas:	Relés de contactos secos, 30 mA a 30 V c.c.

6.4 ABB Smart Analyzer 90, Tipo SMA

Rangos de medida:	Oxígeno: 0 - 5 % hasta 0 - 25 % COe: 0 - 200 ppm hasta 0 - 20.000 ppm
Temperatura, cero:	-46 a 1371 °C
Temperatura, span:	Mínimo: 260 °C; máximo: 1649 °C
Exactitud en pantalla:	
Oxígeno:	± 2,5 % de la lectura
COe:	± 20 ppm en el rango 200 a 1000 ppm; ± 2 % del span en el rango de 1000 a 20.000 ppm
Temperatura:	± 3,3 °C con termopares tipo E, J, K ó T; ± 5,5 °C de 538 a 1649 °C con termopar R ó S y ± 11,1 °C de -46 a 538 °C con termopar R ó S
Exactitud de la salida analógica:	
Oxígeno:	± 2,5 % del valor medido (1 a 5 V cc ó 4-20 mA)
COe:	± 20 ppm en el rango 200 a 1000 ppm; ± 2 % del span de 1000 a 20.000 ppm
Temperatura:	Termopar tipo E, J, K ó T: ± 1,5 % del span Termopar tipo R ó S: ± 1,5 % del span en el rango de 538 a 1649 °C y ± 4,5 % del span en el rango de 260 a 538 °C
Errores de medida por cambios en	CO ₂ : Ninguno; Vapor de agua: Ninguno; Partículas: Ninguno
Tiempo de respuesta T ₆₃ :	Oxígeno: < 3,5 segundos; COe: < 13 segundos
Alimentación eléctrica:	105 a 128 V c.a., 47 a 63 Hz ó 211 a 257 V c.a., 47 a 63 Hz
Consumo eléctrico:	Arranque: 730 W. Operación: 310 W
Suministro de aire:	1,07 barg, 15 NI/min
Señales de entrada:	Cuatro entradas digitales a 120/240 V.c.a., 50 / 60 Hz: DI1: Calibración remota ó 24 V c.c. DI2: Mando remoto del retrosoplado DI3: Mando remoto del gas de cero DI4: Mando remoto del gas de span

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

	Dos entradas aisladas de termopar tipo E, J, K, T, S ó R: Temperatura de entrada. Temperatura de salida
Señales de salida:	Cuatro analógicas, 1 a 5 V c.c. ó 4-20 mA: AO1: Proceso O ₂ AO2: Proceso COe AO3: Temperatura de entrada / salida AO4: Eficiencia de la combustión Seis señales digitales aisladas: Relés forma C: DO1: Proceso O ₂ DO2: Proceso COe DO3: Alarma de temperatura de proceso DO4: Alarma de eficiencia de combustión DO5: Fallo de analizador DO6: Calibración en progreso
Carga máxima en señales de salida:	En voltaje: No inferior a 250 ohmios y no mayor a 600 mH. En modo corriente: No mayor a 600 ohmios y 600 mH
Señal de fallo:	
Salidas digitales:	Estado de alarma: NC se abre y NO se cierra
Salidas analógicas:	Seleccionable por conmutador a baja ó alta señal. Baja: 0 V c.c. ó 0 mA. Alta: 6,2 V c.c. ó 25 mA
Longitud de sonda:	
Sonda estándar con filtro:	1,55 ó 2,46 metros
Sonda estándar con filtro dual:	1,75 ó 2,67 metros
Sonda alta temp. con filtro:	1,57 metros
Cable:	Longitud estándar: 15 metros. Longitudes opcionales: 30 ó 46 metros. Radio de curvatura mínimo: 180 mm. Diámetro exterior: 19 mm
Protección:	Conjunto sensor: NEMA 4 / IP65 (interiores-exteriores) Electrónica: NEMA 4 / IP65 (interiores)
Temperaturas máximas de humos:	Sonda estándar con filtro: 649 °C Sonda estándar con filtro dual: 816 °C Sonda de alta temperatura con filtro: 1649 °C
Condiciones ambientales:	
Temperatura:	Conjunto del sensor: -18 a 93 °C Caja de electrónica: 0 a 60 °C Cable de interconexión: -18 a 93 °C
Humedad:	Conjunto del sensor: 95 % RH a 93 °C, sin condensar Caja de electrónica: 95 % RH a 60 °C
Pesos aproximados:	
Conjunto sensor:	6,4 kg
Caja de electrónica:	12,7 kg
Cable de interconexión:	Estándar 15 metros: 8,6 kg; Opcional 30 metros: 16,8 kg; Opcional 46 metros: 24,5 kg
Certificaciones:	
Factory Mutual:	Aprobado contra retrocesos en el conducto



TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

	Aprobado para uso en áreas clasificadas como Clase I, División 2, grupos A, B, C y D y para Clase II, División 2, grupos F y G
Canadian Estándar Assoc.:	Certificado para uso en localizaciones normalmente no peligrosas
Cumplimiento con marcado CE:	EMC directivas 89/336/ ECC y 72/23/ECC; Estándares EMC EN 50081-2; EN 50082-2 y EN 61010-1

6.5 LAND, Serie 9000 - CO

Técnica de medida:	Absorción de infrarrojos, con técnica de correlación de celda de gas con detección automática de fugas en la celda (Solo en el modelo 9200 Mk II)
Rango de medida:	0 - 10.000 ppm m. Otros rangos seleccionables en teclado
Distancia de paso:	0,5 a 10 metros
Ciclo de medida:	20 Hz integrados cada 2 segundos
Linealidad:	± 3 % del rango (modelo 9100); ± 2 % del rango (9200Mk II)
Resolución:	1 ppm
Tiempo de respuesta:	Ajustable entre 2 y 250 segundos
Calibración:	Validación, Calibración de cero. Calibración de span usando muestra gas apropiada (Solo modelo 9200 Mk II)
Panel de control:	Display de 2 x 16 caracteres, LCD, retroiluminado con control de contraste ajustable en la unidad transmisora. Indicador de intensidad de señal en la unidad receptora. Teclado de 9 pulsadores para entrada de datos, ajustes y calibración.
Temperatura ambiente:	-30 a +55 °C
Rango de temperatura de gases:	Hasta 370 °C
Grado de protección:	IP65, NEMA 4
Certificaciones:	Seguridad: Conforme con EN 61010 EMC: Conforme con EN 50081 y EN 50082
Señales:	
Entradas:	Temperatura de gases: Termopar tipo K ó 4-20 mA a la unidad transmisora
Salidas:	Señal serie aislada RS232 ó RS485 (MODBUS) para concentración de CO, estado, intensidad de señal, inicio de ciclo de prueba, datos de diagnóstico Dos señales analógicas 0, 2, 4-10, 20 mA configurables por usuario Tres contactos de relés, 1 A, 30 V c.c., configurables independientemente como Sistema OK, Mantenimiento ó Alarma (Alta o Baja)
Alimentación eléctrica:	85 -132, 170 - 264 V (seleccionable automáticamente), 50 - 60 Hz. Consumo 200 W
Bridas de montaje:	3", 150 lbs, ASA
Dimensiones:	264 x 212 x 475 mm (H x W x D) cada unidad
Peso:	Transmisor: 10,1 kg; Receptor: 9,4 kg

TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

Opciones:	Conjuntos sopladores de aire de purga
	Bridas de adaptación
	Termopar de gases con transmisor analógico

6.6 Land combustión, modelo 440. Temperatura de punto de rocío ácido

Sonda, Material:	Acero inoxidable
Detector:	Vidrio Pyrex con electrodos de platino
Temperatura de humos:	0 a 400 °C
Longitud:	1,2 metros, estándar
Peso de la sonda:	2,4 kg
Peso del tubo de montaje:	3,9 kg
Brida de montaje:	Según aplicación. Suministro de Land
<u>Unidad electrónica de control:</u>	
Display:	Temperatura del punto de rocío ácido, RBU, MMT ó SO ₃ , seleccionable
Señales de salida:	Dos señales 4-20 mA (0 a 260 °C)
Exactitud:	± 2 °C
Temperatura de operación:	0 a 50 °C
Suministro de aire:	180 l/min
Alimentación eléctrica:	110 / 240 V c. a. , 50 / 60 Hz
Relés de alarma:	Un relé común para malfunción ó mantenimiento
Caja:	IP65 / NEMA 4
Peso:	18 kg
Dimensiones:	380 x 600 x 210 mm (H x W x D)
<u>Conjunto aire y sistema de limpieza:</u>	
Caja:	IP65 / NEMA 4
Caudal de aire:	180 l/min
Presión de aire:	4 a 7 barg
Temperatura de trabajo:	0 a 65 °C
Caudal de agua:	4 litros por día como máximo
Presión de agua:	1,4 barg
Dimensiones:	600 x 600 x 210 mm (H x W x D)
Peso:	29,5 kg



TEMA 1.2.09 - ANALIZADORES EN CONTROL DE COMBUSTIÓN

7 Bibliografía, referencias, agradecimientos y direcciones de interés

Bibliografía y referencias

Handbook of Instrumentation and Controls.- H.P. Kallen. Capítulo 9-81: Flue Gas Analysis

Process Analyzer Technology de Kenneth J. Clevett. - Capítulo 18, Combustion Efficiency Monitoring and Control

Process Control Systems, Part 4 - Combustion Control.- F. G. Shinsky.

Catálogos técnicos y manuales de Ametek-Thermox, Land Combustion, Servomex, Emerson Process (Rosemount Analytical) y ABB

Agradecimientos

Muchas gracias a Roberto Pardo de Servomex por el interés e información técnica recibida.

Direcciones de interés:

www.epa.gov

<http://mediambient.gencat.net>

www.thermox.com

www.landinst.com

www.abb.com

www.servomex.com

www.raihome.com (Emerson Process, Rosemount Analytical)

A mi compañera en tantas cosas

F. Velasco,
Tarragona
Noviembre, 2007
velasco@proyectoicue.com