

Alternativas De Control De Combustión En Calderas Industriales

Iván Pezoa¹

¹ Area de Instrumentación y Automatización, Escuela Tecnológica, USACH, Chile.

Resumen. Las calderas industriales son usadas para satisfacer las demandas de vapor de una planta. En años pasados, solamente las grandes industriales podían justificar controles de combustión sofisticados, pero actualmente el alto costo de los combustibles y las leyes gubernamentales respecto a la contaminación atmosférica han hecho necesario sistemas de control de combustión que aseguren economía de combustibles, seguridad y confiabilidad para responder rápidamente a cambios de la demanda en cualquier circunstancia de carga en el proceso.

1. Introducción

Los controles de combustión son necesarios para regular el flujo de combustible y aire del hogar de una caldera. Su objetivo es adecuar las demandas de vapor de la planta con la más alta eficiencia en la combustión. Esto es efectuado generalmente regulando la cantidad de combustible entregado al hogar y asegurando que el correspondiente flujo de aire sea el suficiente para completar la combustión, pero no tan excedido para evitar la pérdida de calor en los gases de chimenea. La importancia de minimizar el exceso de aire es tal, que por cada 1% de reducción de oxígeno en la chimenea, la eficiencia que se gana debido a la reducción de pérdida de calor es aproximadamente 0,5%.

La figura 1, muestra un esquema de un sistema de control de combustión por medio de calderas múltiples.

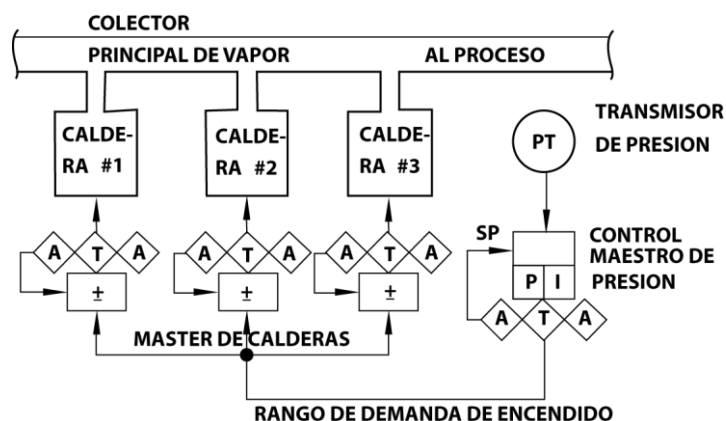


Fig. 1. Esquema de control de combustión en instalación de calderas múltiples

La presión de vapor en el colector es la variable principal y es sensada por un transmisor de presión que la envía como variable del proceso al controlador Master de Presión. Este controlador principal compara la medición con un setpoint y entrega una salida que es la señal de demanda de rango de encendido. Esta señal es transmitida en paralelo a cada Master de caldera de cada unidad, para ser usada al inicio del comando de las válvulas de control de flujo de combustible y las compuertas de aire.

El Master de Presión tiene generalmente dos modos de control: Proporcional más Integral (P.I.).

2. Master En Calderas

La señal de demanda de rango de encendido es transmitida un Master de caldera de cada unidad que alimenta el colector principal. Este Master está generalmente configurado como una estación Automática/Manual que puede proporcionar tres funciones:

Primero, permite que el controlados Master de presión, un control para cada caldera en el sistema automático cuando el Master de caldera está en modo automático. Segundo, permite al operador un ajuste del rango de demanda de encendido para cada caldera individual cuando el Master de caldera está en modo manual. Tercero, proporciona un ajuste manual de nivel de carga de cualquiera de las calderas a un punto por debajo del cual el control de combustión de caldera no ajuste de combustible y aire dentro del hogar.

Hay dos tipos de control de combustión:

- ❖ De posicionamiento directo.
- ❖ De dosificación.

Estos sistemas de control de combustión tienen dos subsistemas:

Subsistemas de control y Subsistemas de control de aire de combustión en cual puede incluir corrección automática de oxígeno.

Los siguientes párrafos describen los dos tipos de control de combustión y la corrección automática de oxígeno.

3. Posicionamiento directo

La señal de demanda de rango de encendido del controlador Master de Presión se transmite directamente a la válvula de combustible y la compuerta de aire en un posicionamiento directo al sistema de control de combustión. Como el flujo de combustible y el flujo de aire no son mediciones, este tipo de sistema usa un lazo abierto de control.

El sistema de control de combustión se muestra en la figura 2

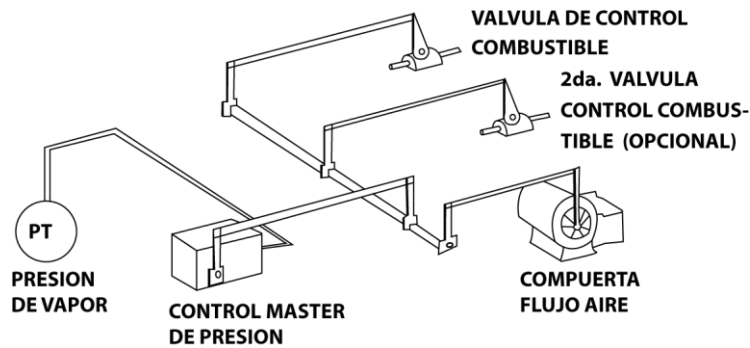


Fig. 2. Sistema de palancas para posicionamiento directo del control de combustión con razón aire/combustible por medio de un Master de presión

Este sistema una palancas mecánicas para transmitir la señal de rango de encendido desde el controlados Master de presión a la válvula de combustible y a la compuerta de aire. La razón aire/combustible se establece por un sistema articulado mecánico. Este sistema es común en calderas pequeñas donde la demanda es casi constante.

Otro tipo de posicionamiento directo es el control de combustión es el mostrado en la figura 3.

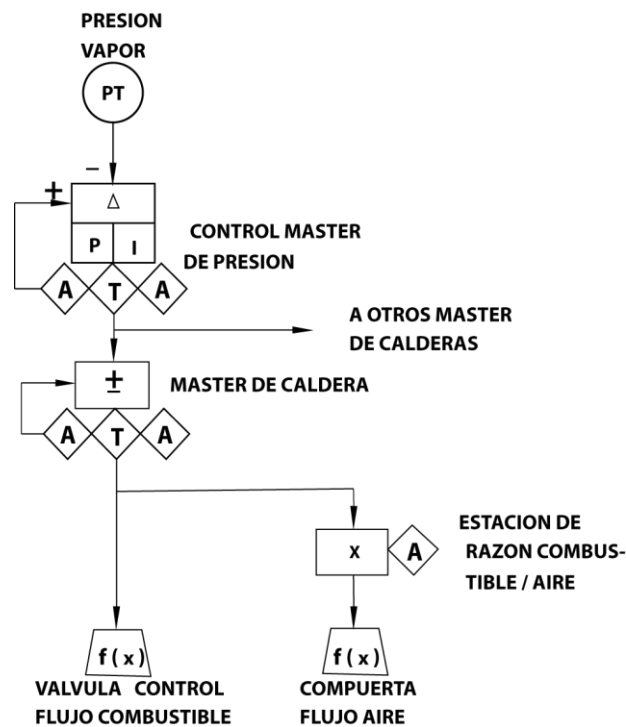


Fig. 3. Control de combustión con posicionamiento directo implementado con instrumentos neumáticos o electrónicos.

En este caso se han reemplazado las palancas mecánicas con instrumentos neumáticos o electrónicos.

El controlador Master depresión proporciona la señal de demanda de rango de encendido directamente a la válvula de combustible y a la compuerta de aire cuando el Master de caldera está en modo automático. La válvula de combustible y la compuerta de aire tienen topes mecánicos que permiten fijarlos en ciertas posiciones. La señal de demanda de rango encendido hace que la válvula de combustible y la compuerta de aire se mueven entre estos límites y proporcionen un flujo predeterminado.

Además, en un sistema de este tipo, el operador puede ajustar la razón aire/combustible.

El controlador de combustión de posicionamiento directo opera satisfactoriamente cuando el combustible tiene calores constantes de B.T.U. Si estos valores cambian, las posiciones prefijadas de aire y combustible no cambian automáticamente y hay que ajustar nuevamente el sistema.

4. Control de combustión dosificado

Este sistema de control de combustión usa un lazo de control cerrado. Hay tres tipos de sistemas: serie, paralelo y adelanto-retardo (o de límites cruzados).

4.1. Dosificación de serie

Este sistema de control de combustión se ilustra en la figura 4. ES un sistema de lazo cerrado donde el controlador Master de Presión entrega la señal de demanda de rango encendido con un set-point remoto al controlador de flujo de combustible. La señal de salida de este controlador posiciona correctamente la válvula de combustible. El transmisor de flujo de combustible detecta los cambios de flujo y envía la señal de proceso al controlador de flujo de combustible y a la estación de razón combustible/aire. Esta estación de razón permite al operador hacer correcciones en la señal de flujo de aire. La señal de salida de este controlador opera sobre la compuerta para cambiar el flujo de aire.

Uno de los defectos que tienen la dosificación-serie es que los flujos de combustible y aire no responden en forma simultánea a los cambios en la demanda de rango de encendido. Un aumento en la señal de la demanda permite que el flujo de combustible aumente antes que aumente el flujo de aire y esta condición hace que la mezcla en el hogar se sature de combustible con malas consecuencias para la combustión.

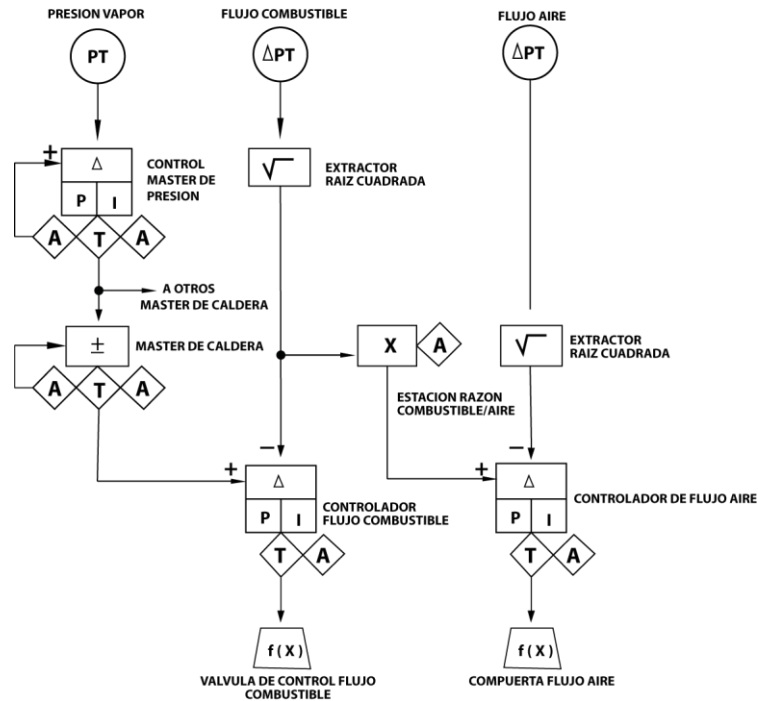


Fig. 4. Control de combustión por Dosificación Serie.

El sistema dosificación-serie para el control de combustión puede cambiarse también de tal forma que el controlador Master de Presión envíe la señal como set-point remoto al controlador de flujo de aire en vez del controlador flujo combustible. Haciendo los ajustes necesarios en la estación de razón, la salida de esta estación va a ser el set-point remoto al controlador de flujo de combustible. Sin embargo, con esta disposición, un aumento de la demanda va a hacer que el flujo de aire aumente antes que el flujo de combustible saturado nuevamente el hogar en una condición menos peligrosos, eso sí, que la anterior. A causa de estos problemas, el sistema de combustión-serie ya no se explica, pero puede encontrarse en algunas instalaciones antiguas.

4.2. Dosificación paralelo

Comparado con el sistema dosificación-serie, proporciona un control más cerrado en relación combustible/aire, y una mejor respuesta a los cambios de demanda de vapor.

El control de combustión Dosificación Paralelo hace que la válvula de combustible y la compuerta de aire se ajusten en forma simultánea. Como se ilustra en la figura 5 el controlador Master de Presión proporciona la señal de demanda como unos set-point remotos a ambos controladores (Flujo aire y Flujo combustible). La señal de salida de estos controladores opera la válvula de combustible y la compuerta de aire.

La estación de razón combustible/aire permite al operador hacer ajustes en la señal de flujo aire que representa la variable de proceso al controlador de flujo de aire. Este ajuste de la estación de razón puede también complementarse por el ajuste del set point remoto al controlador de flujo de aire.

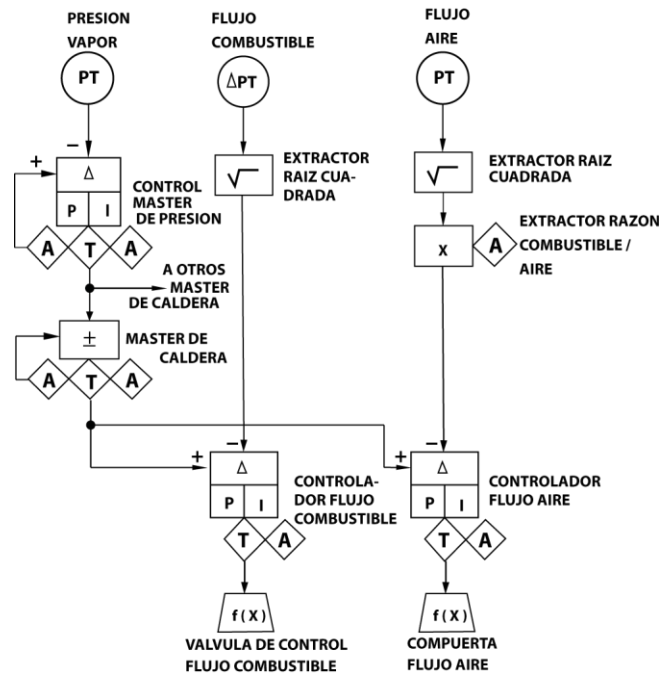


Fig. 5. Control de Combustión por Dosificación Paralelo

Como los set point remotos son transmitidos en paralelo, los controladores de flujo de combustible y flujo de aire pueden entregar correcciones a sus elementos de control final en forma separada y con rangos diferentes. Estos diferentes rangos de ajuste pueden crear disturbios transientes en la razón aire/combustible en el hogar.

4.3. Dosificación paralelo de límites cruzados

Llamado también de Dosificación Adelanto-Retardo y considerado el más seguro de los sistemas serie-paralelo porque impide mezclas ricas en combustible en el hogar. Este tipo de control de combustión es el que normalmente se especifica hoy día, independiente del tipo de caldera, tamaño o clase de combustible a quemar.

Como se muestra en la figura 6 el controlador Master de Presión proporciona la señal de demanda, a través del Master de Caldera y los selectores de señal alta y baja. La función de control de esta señal selectora es llamada “combustible y aire de límites cruzados”. El selector de señal alta recibe la señal de flujo de combustible como una entrada y su salida es el set-point remoto del selector de señal de alta proporciona el set-

point remoto al control de flujo de aire y el selector de señal baja cierra la señal de demanda el controlador de flujo de combustible. Inmediatamente el flujo de aire empieza aumentar, de igual manera como aumenta la señal de demanda. El selector de baja ajusta el aumento de ña señal de flujo o combustible después que ha aumentado el flujo de aire.

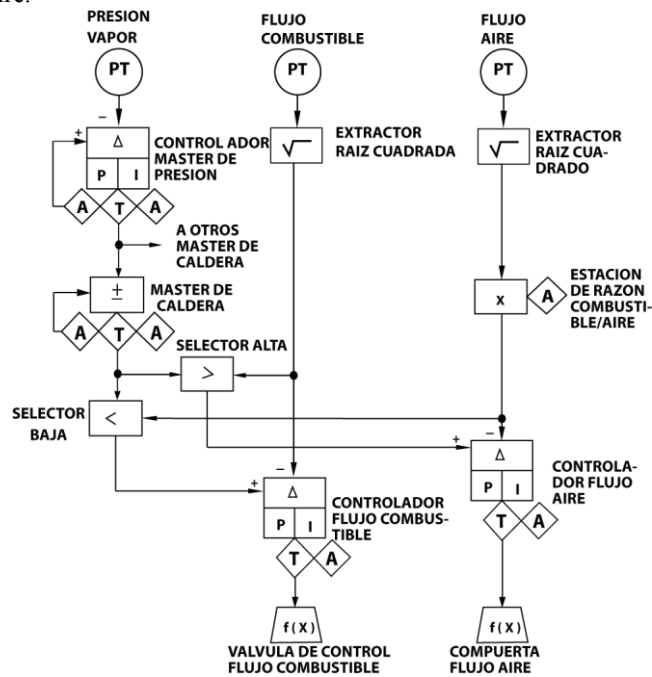


Fig. 6. Control de combustible dosificación paralelo de límites cruzados

Cuando la señal demanda decrece, el selector de baja proporción el set-point remoto al controlador de flujo de combustible y el selector de alta cierra de señal de demanda el controlador de flujo de aire. El flujo de combustible inmediatamente decrece y la señal de demanda decrece. El selector de alta ajusta la disminución de la seña de flujo de combustible al controlador de flujo de aire disminuye el flujo de aire. Por lo tanto, el flujo de combustible disminuye antes de que disminuya el flujo de aire.

Si por causa de falla el flujo de aire disminuye, el selector de baja transmite esta señal al controlador de flujo de combustible, el cual disminuirá proporcionalmente, independientemente de la demanda, y evitando las mezclas ricas en el hogar.

Este sistema se usa con calderas de varios tamaños, cuando la demanda de carga fluctúa ampliamente, cuando la mezcla rica de combustibles es absolutamente intolerable o cuando un control de razón Combustible/aire requiere de máxima eficiencia.

Prescindiendo de cual grande o pequeño sea el cambio de carga, este control de combustible mostrado en la figura 6, tiene la desventaja de respuesta a los cambios de carga en los rangos lentos (espacios) por la forma de reaccionar el elemento final del control. Por ejemplo, pensemos que la señal de demanda aumenta levemente a

pequeños aumentos de demanda de vapor. Con el sistema actual, la compuerta de aire aumenta el flujo de aire y posteriormente aumentaría el flujo de combustible por la acción de la válvula de control. Sin embargo, si la compuerta de aire es pesada, no va a responder a esos pequeños aumento de la señal de demanda. Como no cambia el flujo de aire, el flujo de combustible cambia y no ocurre ningún cambio en el rango de encendido.

Para obtener una respuesta rápida a estos bajos porcentajes de cambio de carga, el sistema de control de combustión dosificación paralelo límites cruzadas se le agrega lo mostrado en la figura 7. En este sistema, módulo de ajuste y ganancia caracteriza las señales de flujo aire y combustible en vez de que estas señales vayan directamente a los selectores de alta y baja señal.

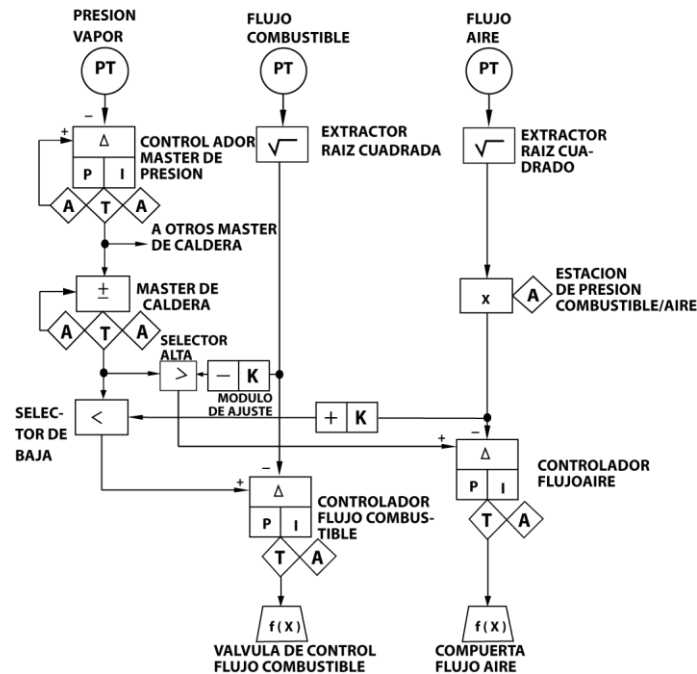


Fig. 7. Control de combustión dosificación paralelo de límites cruzados con módulo de ajustes y ganancia

El controlador Master de presión proporciona la señal de demanda de rango de encendido en los selectores de señal de alta y baja. Si hay un cambio en esta demanda más grande que la diferencia de las señales de salida de los dos modos de ajuste y ganancia, el selector de alta provee una señal de set-point remoto al controlador de flujo de aire. El flujo de aire inmediatamente empieza a aumentar. Al mismo tiempo, el selector de baja bloquea la señal de demanda de ignición hacia el controlador de flujo de combustible. El selector de baja ajusta el aumento de la señal de flujo de aire a la del controlador de flujo de combustible para incrementar el flujo de combustible.

Con un cambio en la señal de demanda menor que las diferencias entre las señales de salida de los módulos de ajuste y ganancia, la señal de demanda de encendido que está alimentando en paralelo a los set-point remotos de los controladores de flujo de aire y combustible. Como todas las calderas usan un cierto porcentaje de exceso de aire, la cantidad de ajuste y ganancia está prefijada.

Así la mezcla de combustible y aire está siempre entre el ancho de banda del aire teórico y el exceso de aire.

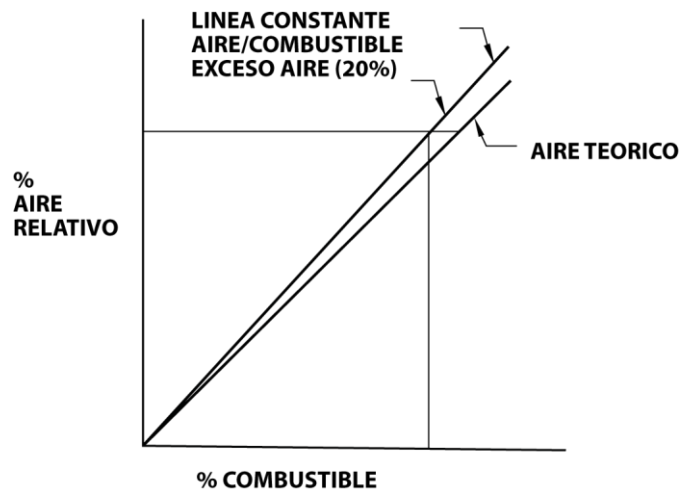


Fig. 8. Exceso de aire vs aire teórico

La línea constante de aire combustible de la Fig. 8, es también la línea de exceso de aire deseada. Desviaciones momentáneas en la razón combustible/aire no van a ser críticas mientras se mantengan dentro de la línea de aire teórico (exceso aire seco).

Usando el sistema de control de combustión de la figura 7, puede ocurrir que exista un pequeño incremento en la señal de demanda y el flujo de combustible puede aumentar sin que aumente el flujo de aire. Esto se, que la cantidad total de exceso de aire proporcione el margen necesario que evite una mezcla rica en combustible en el hogar.

Con una pequeña disminución en la señal de demanda, el flujo de aire puede cambiarse dentro de los límites seguros de exceso de aire, sin que sea necesario ajustar el flujo de petróleo.

5. Corrección automática de oxígeno

Hasta años reciente, solamente las grandes calderas podían justificar controles de combustión sofisticados. Actualmente el alto costo de los combustibles a echo necesario perfeccionar estos controles para lograr su máxima eficiencia. Además

regulaciones de tipo gubernamental han puesto un alto a la contaminación atmosférica colocando estándares apropiados.

El uso de la corrección automática de oxígeno en la razón combustible/aire, día control realimentando, proporciona una gran eficiencia, seguridad y es para asumir las siguientes funciones:

- ❖ Mantener una combustión eficiente con un mínimo de combustible en cualquier condición de operación.
- ❖ Minimizar la contaminación atmosférica especialmente durante cambios de demanda.
- ❖ Ayudar a una operación segura.
- ❖ Mantiene la salida de gases de la caldera o la temperatura del hogar a niveles deseados.
- ❖ Reduce la corrosión de equipos.
- ❖ Minimiza la oxidación de productos durante tratamientos térmicos.

5.1. Proceso de combustión

Los combustibles más comunes existen en moléculas de carbón e hidrógeno. La combustión es la oxidación del oxígeno con un combustible para liberar calor. La combustión perfecta es la combinación de las proporciones exactas de combustible y oxígeno (aire), para obtener la conversión completa de carbón e hidrógeno produciendo vapor de agua dióxido de carbono y calor.

Las proporciones ideales de combustible y aire varían directamente con los BTU, contenidos en el combustible. Adicionalmente también la razón combustible/aire depende de las especificaciones del hogar o caldera y de la carga.

Demasiado aire, da como resultado una pérdida de energía por la chimenea. La falta de aire produce una pérdida en la generación de energía debida a una combustión incompleta. Para evitar esto se requiere una cierta cantidad de exceso de aire para que asegure la combustión completa y que además compense los retardos en la razón de control Combustible/Aire durante los cambios de carga.

La composición del gas de combustible es una excelente indicación de la eficiencia de la combustión. El oxígeno (O₂), Dióxido de carbono (CO₂) y el Monóxido de carbono (CO) son los tres gases válidos para ser monitoreados.

El monitoreo del oxígeno es la forma más popular de hacerlo con muchas razones. Tiene una relación directa con el exceso de aire, es indiferente a otros gases en la chimenea y es independiente de la composición del combustible.

Por supuesto que es necesario observar ciertas precauciones en la ubicación del muestreo, cuyo lugar cuidadosamente seleccionado debe minimizar los efectos de estratificaciones o infiltraciones de aire los cuales falsearían las lecturas de O₂.

5.2. Sistemas de control

La relación aire/combustible puede ser controlada automáticamente monitoreando la concentración de oxígeno en la chimenea. Esto no solamente minimiza la necesidad de exceso de aire por seguridad, sino que también compensa los cambios caloríficos de combustible u otros factores de operación.

La corrección por oxígeno puede implementarse usando la implementación mostrada en la figura 9.

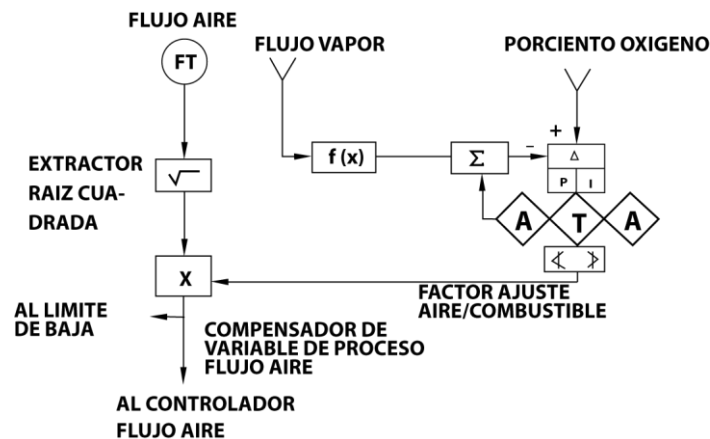


Fig. 9. Sistema de control de corrección automática de Oxígeno

En este caso se reemplaza la estación manual de razón de aire/combustible en el sistema de dosificación de paralelos de límites cruzados, este equipo actúa como un compensador ajustando la variable de procesos aplicada al controlador de flujo de aire y al selector de baja señal.

El set-point del controlador de Oxígeno es una derivación de la medición de flujo de vapor baso en la relación mostrada en la figura 10.

La salida del controlador de Oxígeno se aplica en un computador análogo (Sumador y multiplicador). Si la razón aire/combustible tiene un factor unitario, el compensador no tiene ningún efecto sobre la variable de procesos de flujo de aire. Si es necesaria una corrección esta se representaría por ese factor.

Generalmente los Exceso saltos de Oxígeno son Ordinariamente mantenidos en bajas cargas por que la velocidad de combustión decrece en las disminuciones de flujo de vapor, así, el combustible y el aire llega a ser menor en una mezcla completa. El alto exceso de oxígeno proporciona más aire a la mezcla que petróleo, mejorando las posibilidades de una reacción química,

El caracterizador en la figura 9. Complementa la pendiente y los valores límites (Como los mostrados en la figura 10), relativos a la carga de la caldera y al exceso de Oxígeno. Este sumador provee el ajuste de la estación de tal forma que el operador pueda cambiar la curva del set-point hacia arriba o hacia abajo.

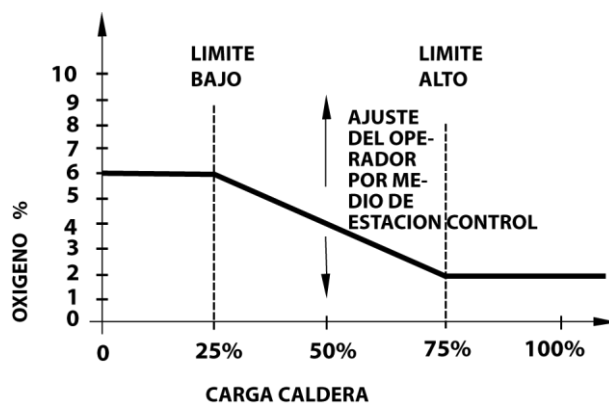


Fig. 10. Relación entre la carga de la caldera y el exceso de oxígeno deseado

El controlador de oxígeno compara la medición de las concentraciones de gas de oxígeno en la chimenea con el set-point de la curva programada de carga y aplica una acción PI para corregir el error. Este controlador tiene a menudo una autorrealimentación (realimentación positiva) y límites de salida de alta y baja ajustables. En acción directa; la razón aire/combustible ajusta el factor y efecto de reducción de combustible a un flujo constante. Aumentando la razón aire/combustible eleva el factor de ajuste que compensa la variable de proceso transmitida del controlador de flujo de aire. Este instrumento en acción reversa, cierra la compuerta de aire, disminuyendo el flujo de aire y por lo tanto decrece el porcentaje de Oxígeno e la chimenea.

Referencias

1. P. Congdon, Fisher Controls Co. INTECH, an ISA publication, 1981.
2. D. Considine, Manual de Instrumentación Aplicada. Tomo II. CECSA, 1972.
3. Heneywell, Inc. Oxigen Trim of Fuel/Air Ratio. Application Note 93-00-07-29 Process Control Division, 1982.
4. Foxboro, Bolier Combustion Feedwater and cold'end temperatura controls. System Instructions M79-603771 1979