

ART. B07 Agosto 1973

IMPLOSION (Furnace Implosion)

Por: Ing. Roberto Fernández Blanco

• **INTRODUCCIÓN**

Es prácticamente innecesario explicar que es una explosión.

Es un término cuyos efectos y consecuencias son popularmente conocidos y asimilados desde la primera infancia, simplemente a través de los juegos de pirotecnia de cada fin de año.

Pero, como contrapartida, es escasamente conocido el efecto opuesto, el de la "explosión hacia adentro", el de la **implosión**.

Quien alguna vez ha diseñado conductos y tanques y/o ha tenido alguna experiencia de planta sabe que puede ser más devastador un repentino aumento de vacío (caída de presión por debajo de la atmosférica) de tan solo $\frac{1}{2}$ kg/cm² que un sorpresivo incremento de presión de 10kg/cm².

Una mejor idea se puede tener inflando una bolsita de papel con la boca hasta su máximo despliegue (condición normal) y soplar con fuerza para intentar en vano su reventón, para luego con apenas aspirar- notar con cuanta facilidad la bolsita se pliega hacia adentro, se "chupa". Es así de evidente que este efecto producido en una caldera y/o en sus conductos puede llegar a provocar serios daños mecánicos.

En calderas de tiro balanceado (esto es con el hogar operando con depresiones del orden de los (-5) a los (-10) mm de columna de agua) este incidente "implosivo" se producirá como resultado de una excesiva depresión dentro de la zona que va desde el hogar hasta el ventilador de tiro inducido, provocada por una pérdida de equilibrio en el balance entre el volumen de los Gases de Combustión (aire más los productos de la combustión) extraídos por el ventilador de Tiro Inducido y el volumen del Aire ambiente ingresado por los ventiladores de Tiro Forzado (y por otras puertas de aspiración) más el volumen de combustible gasificado.

Varias son las causas específicas (ver figura 1) que pueden provocar este desbalance de caudales y en consecuencia el peligroso e indeseado aumento de vacío (depresión) en el hogar de la caldera y/o en sus conductos:

“a”- Muy rápidas o bruscas caídas **indebidas** en el suministro de aire forzado, ya sea por paradas espurias de los ventiladores de Tiro Forzado o también por falla y cierre brusco (ó muy rápido) de los dampers (compuertas en forma de pantalla plana o clapetas) de regulación del caudal de aire forzado.

“b”- Muy rápido o brusco incremento **indebido** en el nivel de apertura de los dampers de regulación del caudal de gases de combustión aspirado por el ventilador de Tiro Inducido.

“c”- Muy rápido o brusco incremento **indebido** en el nivel de cierre del damper de regulación del caudal de aspiración que toma el ventilador de Tiro Inducido (este caso afecta al tramo de conducto que va desde este damper al ventilador de tiraje).

“d”-Taponamientos crecientes o destaponamientos bruscos en los tubos de sobrecalentadores, economizador y/o precalentadores de aire, los que deberán mantenerse limpios de hollín, cenizas, etc, con el doble propósito de preservar la mayor eficiencia de intercambio calórico y para mantener al mínimo la pérdida de carga de los gases de combustión a través de ellos, evitando la necesidad de tener que operar con mayor depresión para poder aspirar el necesario caudal de gases de combustión generados por la caldera.

“e”- Una imprevista fuerte reducción del caudal de combustible o un sorpresivo apagado de la llama (por falla de llama o disparo del sistema de seguridad BMS) que provocan un repentino enfriamiento de los gases en el hogar de la caldera y con ello una brusca contracción del volumen de los mismos que se traduce en un repentino aumento de la depresión en el hogar (al estilo de las ventosas que usaban nuestras abuelas).

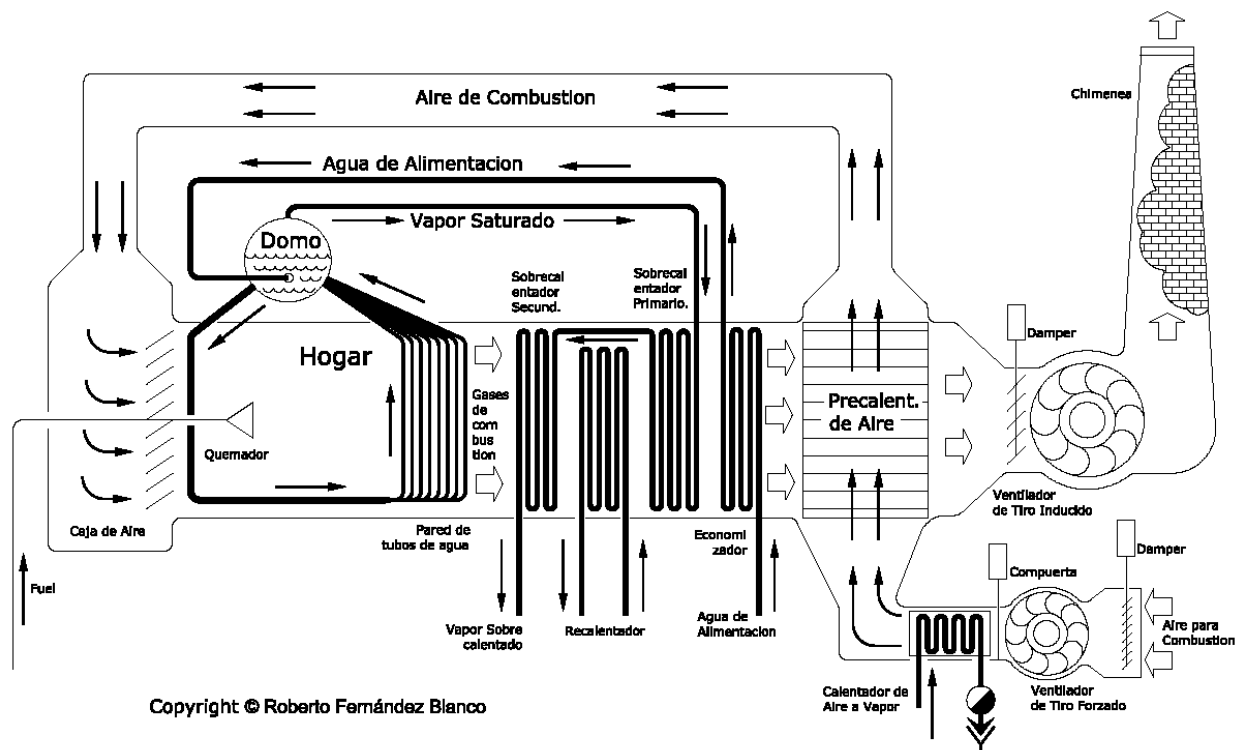


Figura 1. Caldera de Tiro Balanceado

Como primera consideración deberá ponerse especial cuidado en el diseño y selección de los límites para los niveles máximos de aspiración del ventilador de Tiro Inducido y en el diseño de las cavidades y los conductos de los gases de combustión.

Como referencia debe recordarse que los cálculos para el diseño de la caldera y sus conductos se hacen considerando depresiones que no superen los (-850) milímetros negativos de columna de agua y que- usualmente- se diseña con valores del orden de los (-760) mm agua. Se debe poner también especial cuidado en el diseño del trazado de aspiración donde tienen particular importancia las pérdidas de carga producidas por los recovecos y laberintos del hogar, por los

precalentadores de aire, por los sobrecalentadores de vapor y por el economizador, previendo, en particular, que el pasaje de los gases de combustión por entre los tubos de intercambio calórico de estos últimos podría llegar a restringirse por depósitos de hollín, cenizas u otros componentes (como se da en el caso de calderas de recuperación por licor negro en plantas de pulpa y papel).

Particular atención deberá también prestarse hacia el lado del ingreso de combustible en calderas que reciben carbón pulverizado o gases de recuperación de otros procesos, usualmente suministrados a través de conductos de bajas presiones.

- **SISTEMA DE CONTROL DE LA DEPRESIÓN EN EL HOGAR.**

La estrategia de control para lograr una apropiada y estable regulación de la depresión en el hogar y además prevenir la unidad contra condiciones de implosión, exige considerar los riesgos básicos mencionados en el punto anterior y además los derivados de posibles fallas operativas en componentes del sistema de control.

Es también necesario recordar que un sistema de control automático, por muy elaborado que sea, nunca podrá lograr lo que el proceso, por su propio diseño, no puede o no permite.

La experiencia en la medición continua de depresión en el hogar conduce a tomar ciertas precauciones. La primera de ellas es poner la toma de presión en un punto del hogar verdaderamente representativo, donde se vean rápidamente reflejados los efectos de los cambios en el balance de movimientos de los volúmenes de aire y de gases de combustión.

La cañería de toma de la señal de depresión en el hogar debe ser de gran diámetro (3/4" ó 1") por cuanto el simple movimiento pulsante producido por los cambios de presión en el hogar provoca, en el caño de medición, el ingreso de impurezas (hollín, cenizas, etc) y de vapor de agua (subproducto de la combustión) que al enfriarse se condensa y que -conjuntamente con las impurezas- da lugar a la formación de burbujas de taponamiento a lo largo del caño de señal, burbujas que actúan como pequeñas válvulas de retención que afectan la calidad y precisión de la medición.

El tramo inicial horizontal de la cañería de toma de señal que se conecta al tramo vertical, deberá tener una cierta pendiente hacia la caldera, en tanto que el tramo de bajada deberá continuar verticalmente hacia abajo con igual diámetro y extenderse unos treinta o cuarenta centímetros por debajo de las tomas de presión del instrumento de medición, para terminar con una válvula de purga y con un tapón cuyo propósito es evitar que un mal cierre de la válvula de purga pueda (por pérdida) generar error en la lectura del instrumento.

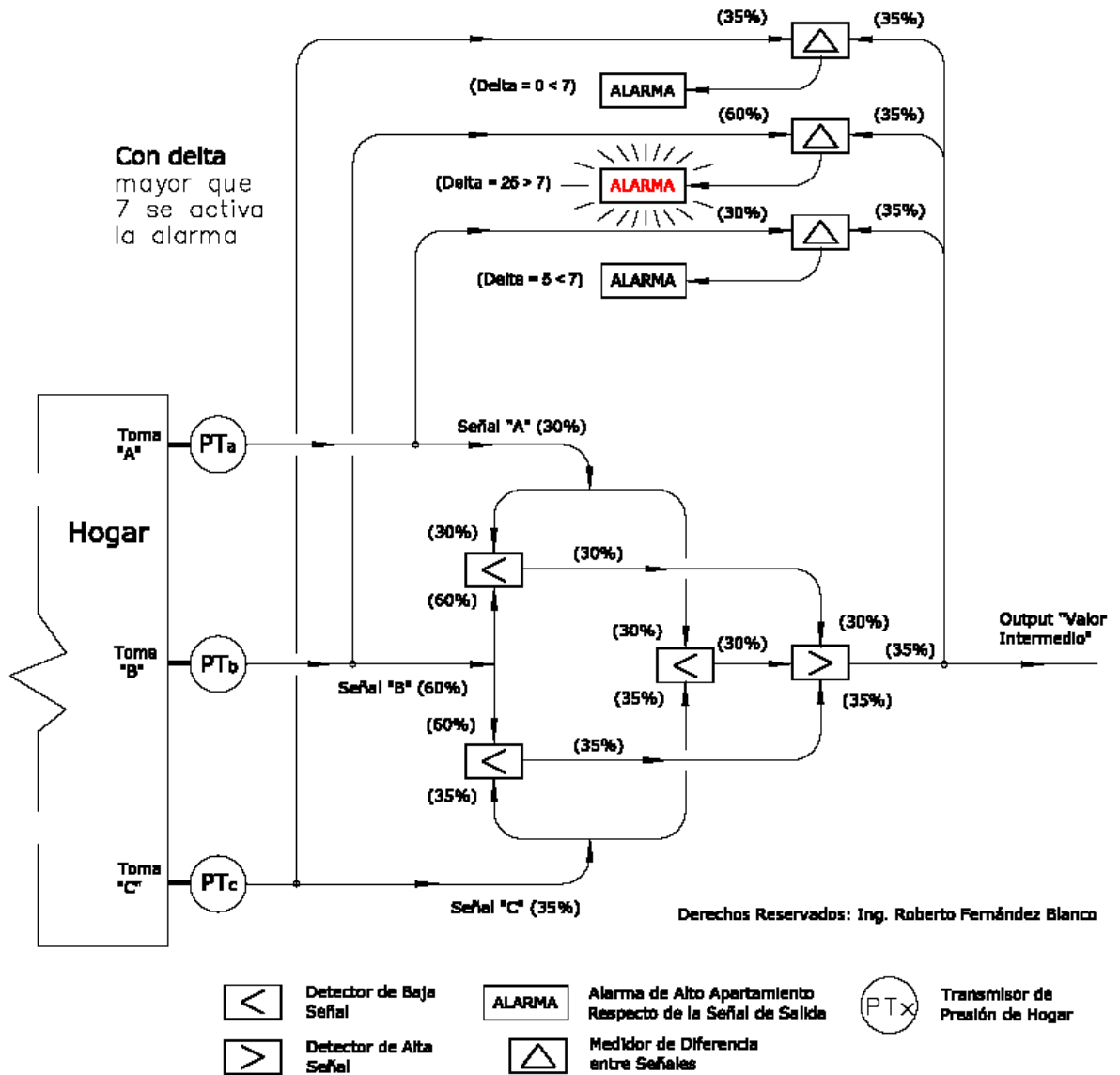


Figura 2. Medición triple redundante con selección de valor intermedio y alarma por alto apartamento.

Bajo condiciones normales el valor intermedio de las tres señales es el elegido para ser usado en el lazo de control (ver fig. 2). Si la señal de salida de alguno de los transmisores difiere significativamente de las restantes, la señal de salida seguirá siendo el valor intermedio y el sistema continuará operando en modo automático pero una alarma advertirá del problema e identificará el instrumento que discrepa con los restantes a los efectos de su reparación, el cual podrá ser sacado del sistema (llevando la señal a cero) sin afectar la calidad operativa del lazo de control.

No conviene extender el primer tramo "horizontal" del caño de toma de señal mas allá de unos 50 cm medidos desde la pared de la toma de depresión en el hogar hasta el caño de bajada

vertical. El tramo de bajada vertical deberá ser lo mas corto posible. No se recomienda extender este recorrido de señal más allá de esta configuración.

Puesto que **la medición de la depresión en el hogar es crítica** para el control y la protección contra implosión de la caldera, la experiencia ha hecho recomendable el uso de **tres medidores (transmisores) de depresión en un esquema de triple redundancia** (incluido tomas independientes al hogar pero muy próximas entre sí para que sean representativas de una misma zona de medición) cuyas señales serán procesadas por comparación para **utilizar de ellas la señal del valor intermedio** y para detectar fallas en las mediciones por apartamientos anormales entre las mismas.

Si el tipo de falla implicara que los tres transmisores difieren entre sí mas allá de lo permitido, el sistema pasará automáticamente de automático a manual manteniendo el último valor anterior de la señal de salida, alertando al operador y permitiéndole tornar la decisión de continuar en manual u optar por elegir la señal de salida de alguno de los tres transmisores para retornar a control en automático en condición sin redundancia.

Se recomienda no utilizar transmisores con alto rango de medición con la pretensión de poder monitorear grandes apartamientos de la presión del hogar. Esto atentaría contra una mayor sensibilidad en la medición y afectaría negativamente la controlabilidad del lazo de regulación.

Puesto que esta medición suele ser de naturaleza "ruidosa" (fluctuante), en las cercanías del set point (esto es con bajo apartamiento entre medición y set point) puede generar inestabilidad en el control. Para neutralizar este efecto negativo y minimizar los efectos modulantes sobre el actuador del damper conviene utilizar un caracterizador que baje la ganancia del error únicamente en un limitado entorno del set point y permita operar con ganancia normal para mediciones fuera de ese entorno.

• **ACCIONES COMPLEMENTARIAS**

Para mejorar la calidad del control de la depresión en el hogar y estructurar el sistema con un mayor nivel de protección, puede considerarse la conveniencia de incorporar algunas acciones complementarias, tales como:

- 1- **Incorporar** una señal anticipatoria (feedforward) representativa de un cambio de carga (demanda de aire) en la caldera.

Previo cuidadoso análisis de los tiempos de respuesta del proceso y de los diferentes componentes del sistema de regulación, dicha señal anticipatoria de demanda podrá derivarse de la señal de caudal de vapor, de la de caudal de combustible, de la del master de presión, o de las de comandos de dampers, con la salvedad de que el posible uso de la señal de medición de caudal de aire forzado sea analizada con particular precaución.

Esta señal anticipatoria formará parte del lazo de regulación por encima de la estación de transferencia manual/automático.

- 2- **Incorporar** un módulo de protección por desborde (override) para prevenir contra apartamientos de la presión demasiado grandes para el controlador y que sirva también de respaldo (back up) del lazo de control en caso de falla.

Esta señal de override deberá actuar necesariamente después de la estación Man/Aut para proteger a la caldera tanto bajo control manual como bajo control automático. Este override opera con una banda muerta que lo mantiene inactivo mientras la señal de error (entre medición y set point) no supera el umbral de disparo. Pasado este umbral el override aplica la señal total de corrección sobre el damper de tiro inducido. Como protección adicional contra una falla en el módulo de override, una lógica solo permitirá el paso de la señal de override cuando no exista falla en los transmisores y un gran apartamiento de la depresión es detectado por otro equipo independiente o se produzca un disparo de corte de combustible en el sistema BMS de seguridad.

- 3- A veces es necesario **incorporar** un subsistema de override en la succión del ventilador de tiro inducido para proteger los conductos contra implosión por falla en el damper o por taponamientos a lo largo de los componentes del conducto. Este subsistema opera en base a la comparación del valor intermedio de dicha presión de succión (medida con otros tres nuevos transmisores y selector de valor intermedio) con respecto a un valor de set point preprogramado en base a la medición el caudal de aire forzado.

El gran error en la presión de succión pasará a través de un controlador proporcional con alta ganancia, el que actuará sobre el comando del damper de tiro inducido.

- **DISPARO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD “BMS” (Master Fuel Trip)**

El corte de combustible por disparo del sistema BMS se traduce en un corte de llama, extinción del fuego, descenso rápido de la temperatura (enfriamiento), contracción volumétrica de los gases, depresión adicional, mayor succión del ventilador de tiro inducido al aumentar su columna de aspiración por disminución de la cantidad (caudal) de volumen (contracturado) y consecuente mayor depresión en el hogar y conductos.

Esta rápida depresión puede alcanzar valores del orden de los (-500) mm de agua en el hogar y del orden de los (- 850) mm de agua sobre la boca de aspiración del ventilador de tiro inducido, con transitorios del orden de los 15 segundos, tiempo suficiente para poner en fuerte riesgo la unidad y los conductos de operación.

Estos efectos pueden atenuarse actuando sobre la señal de comando del damper de tiro inducido haciendo que con el disparo del BMS se introduzca una señal que sea proporcional al caudal de gases existente en el instante inmediatamente anterior al de dicho disparo.

Esto requiere que el sistema esté continuamente monitoreando alguna función representativa de la carga, tal como la de demanda de posición del ventilador de tiro forzado, adaptada a través de un caracterizador de carga.

Obviamente esta señal se inserta en el lazo a posteriori de la estación Man/Aut y actúa cuando se produce un disparo del BMS asegurando así el correspondiente nivel de cierre del damper de inducido, independientemente de si el sistema está en Manual o en Automático.

Puesto que los volúmenes de entrada y de salida de aire/gases de la caldera tienden a balancearse, la anterior señal de corrección deberá ir anulándose con un cierto nivel de rampa compatible con los tiempos naturales de recuperación de la caldera.

El lazo de control, de estar en automático, seguirá ejerciendo el comando de la regulación hasta completar la recuperación del nivel de depresión normal hasta alcanzar el valor deseado (set point).

- **BMS (Burner Management System)**

Condiciones peligrosas de alto nivel de tiraje pueden también resultar de un incorrecto manejo de ventiladores y dampers, y requieren, por lo tanto, de una compleja lógica que garantice las correctas secuencias operativas y las debidas protecciones.

Esta lógica suele implementarse en el Sistema de Interlocking (o bien en el Sistema failsafe BMS de seguridad de la caldera) en base a la secuencia establecida por el fabricante de la misma.

- **SECUENCIA DE VENTILADORES**

Varias implosiones en calderas han ocurrido antes del encendido.

La causa, simple y obvia, es la resultante de un incorrecto manejo secuencial de arranque y/o parada de ventiladores y/o de una inadecuada apertura o cierre de dampers y de pasos de aire asociados.

Previo al inicio de la operación, lo primero es asegurarse de que hay camino abierto para el paso del aire desde el ventilador de tiro forzado hasta la entrada del ventilador de tiro inducido.

Para ello estarán abiertos totalmente los dampers del (o los) ventiladores de tiro forzado.

Luego hay que asegurarse que esté cerrado el damper de entrada (y, de existir, el de salida también) del ventilador de tiro inducido.

El arranque empieza por el Ventilador de Tiro Inducido, debiendo esperarse el tiempo necesario para que alcance su máxima velocidad. Recién entonces deberá abrirse totalmente el damper de salida (si existe) y luego deberá llevarse a automático el damper de entrada del mismo para que el lazo de control (que debe estar bien ajustado en sus valores de banda proporcional y de acción integral para evitar oscilaciones que traspasen los niveles límites de protección) opere libremente.

Puesto que lo típico es contar con dos ventiladores de tiro forzado, mientras uno de ellos debe seguir con los dampers abiertos para permitir el ingreso de aire, al otro deberán cerrárseles la compuerta de bloqueo y los dampers de regulación para iniciar su arranque.

Una vez en funcionamiento normal por unos minutos, se deberá abrir el respectivo damper de salida (compuerta de bloqueo) y se dejará el damper de entrada (de regulación) liberado para operar automáticamente con el lazo de control, el que lo posicionará para tener el caudal mínimo de aire forzado establecido por el fabricante de la caldera (25% de total de máxima carga según la NFPA).

El lazo de control de tiraje balanceará la posición del damper de tiro inducido para mantener la presión (depresión en realidad) fijada como set point (valor deseado) para el hogar.

La compuerta de bloqueo y el damper de regulación del segundo ventilador de forzado deberán cerrarse y permanecer en este estado hasta tanto sea necesario incorporarlo a la caldera, en cuyo caso se arrancará y procederá de similar manera que con el primero.

Para una parada normal, el procedimiento se hace aproximadamente en el orden secuencial inverso.

En el caso de disparo del BMS los dampers serán llevados al cierre de acuerdo con los pasos secuenciales previstos por el fabricante de la caldera.

Particular cuidado deberá ponerse en el análisis de la velocidad de respuesta de los componentes del lazo de control para garantizar un apropiado acompañamiento de los elementos reguladores entre sí y a la vez una apropiada velocidad de respuesta de todo el sistema acorde con los requerimientos de la caldera. De hecho, la velocidad de reacción de los equipos de regulación de los caudales de aire y de gases deben ser compatibles con la velocidad de operación del lazo de control (no inferiores ni dispares).

Por lo tanto los dampers de los ventiladores requieren de actuadores de respuesta rápida para poder permitir una adecuada reacción del lazo de control ante un rápido aumento de la depresión en el hogar.

Lo recomendable es que los tiempos de reacción de los mismos-para un 100% de la carrera- sea inferior a 20 segundos, por lo que correcciones típicas del 10 al 15% se logren dentro de los 2 a 3 segundos.

Obtener estas velocidades de respuesta es particularmente importante cuando el BMS dispara la caldera en condiciones de carga alta, que es cuando se produce el más rápido y elevado corrimiento negativo de la presión de tiraje, que coincide además con la posición de damper abierto en el inducido y que es precisamente la posición de menor efecto regulatorio de un damper por lo que requiere de mas carrera y de alta velocidad para producir el necesario efecto compensador.

- **TRABAS (Interlockings)**

Es común que se tengan dos ventiladores de tiro forzado por caldera (aunque a veces estos son de capacidad parcial, del orden del 60 o 70% de plena carga).

Si uno de ambos ventiladores se cae estando la caldera en operación, las lógicas de los subsistemas de control de combustión y de tiraje deberán automáticamente realizar una acción correctiva hacia atrás (runback logic) para bajar y acomodar la capacidad de producción de la caldera a la limitación de un solo ventilador.

De existir dos ventiladores de tiro forzado y dos de tiro inducido, la caída de uno de ellos suele acompañarse también con el disparo cruzado (crosstrip) de uno de los otros dos.

Igualmente, de llegar el ventilador de tiro inducido a su nivel de máxima capacidad, la estructura de "runback control", deberá mantener la capacidad de producción balanceada hasta dicho nivel y no permitirá aumentos de carga que el ventilador de inducido no podría absorber.

En caso de darse condiciones de presión positiva en el hogar, una lógica de bloqueos direccionales limitará la acción al cierre en el ventilador de inducido y la acción a la apertura en el de forzado, en tanto que en el caso de presión negativa excesiva los bloqueos ejecutarán las limitaciones en sentido inverso.

Estos bloqueos protegen contra fallas en el sistema de control que podrían conducir a los reguladores de entrada de los ventiladores en una dirección errónea durante apartamientos mayores de depresión.

También amortiguan la rapidez de cambios de carga si el control de tiro no alcanza a tener la suficiente velocidad de respuesta.

Estos bloqueos direccionales deben estar implementados para ejercer su función a la salida de la estación Man/Aut para servir también de protección contra posibles errores del operador durante la etapa de operación manual de los ventiladores.

Obviamente el subsistema de control de combustión limitará a su vez el incremento de caudal del combustible frente a una mayor demanda de carga si es que el caudal de aire de combustión está limitado, o no puede ir acompañándolo para mantener en todo momento la adecuada relación Aire/Fuel, o para evitar la formación de un bolsón de combustible sin quemar debidamente.

El sistema deberá también mantener automáticamente una apropiada posición en la estación Man/Aut. para evitar el riesgo de que el tiro forzado esté en automático sin estar el tiro inducido bajo control. Y como contrapartida, si el tiro inducido se pasa a manual, automáticamente el tiro forzado también deberá ir a manual o -en su defecto- lógicas cruzadas deberán impedir que, por uno u otro motivo, se produzcan grandes apartamientos (excursiones) del valor de tiraje correspondiente.

- **ADVERTENCIA**

El propósito de este artículo es meramente ilustrativo y si bien responde a aplicaciones realizadas por nuestra empresa o vinculadas a sistemas de nuestra producción, su enfoque es demasiado

amplio y general y no debe usarse para la configuración de un sistema anti-implosión sin una ingeniería precisa referida a la aplicación específica, la que deberá ser realizada –por razones obvias y además por expresa recomendación de las normas- por personal experimentado, con profundo conocimiento del proceso, de los equipos de control a ser utilizados, de las normas aplicables y de las recomendaciones del fabricante de la caldera.

Ing. Roberto Fernández Blanco
Agosto 1973

CONTROLES S.A.
Especialistas en Sistemas de Alta Seguridad