

Un Artículo Técnico de Aplein Ingenieros S.A.

Detección de fugas de vapor en calderas por métodos acústicos

INTRODUCCIÓN

Un problema de gran importancia con el que sistemáticamente tiene que enfrentarse todo operador de una caldera de vapor a la hora de producir energía es el de la aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor de la misma.

Dicho problema adolece de una serie de características que le hacen especialmente grave en el caso de las calderas destinadas hoy día a la producción de energía eléctrica, ya que la situación de competencia en que se encuentran los diversos suministradores implica la necesidad de un nivel de disponibilidad lo más alto posible de las centrales, resultando de un gran perjuicio económico cualquier necesidad no programada de parada de las mismas.

Por un lado, el problema aparece de forma inesperada, resultando muy difícil, por no decir imposible, la predicción precisa del mismo. Los fenómenos de corrosión y de degradación de materiales que dan lugar a la aparición de las fugas son perfectamente conocidos, sin embargo nadie tiene datos suficientes de todos los elementos instalados en una caldera, y menos de sus defectos ocultos de fabricación, como para establecer un modelo matemático que permitiese predecir con cierta fiabilidad la aparición de una fuga. Como máximo podríamos decir que cuantos más días llevásemos sin la manifestación de una fuga más alta sería la probabilidad de que dicha fuga pudiese aparecer, pero esto tendría la misma utilidad que para los hombres del campo tenía la predicción de aquel meteorólogo de tres al cuarto que, tras muchos meses de sequía, decía: Cierto es que llevamos muchos meses de sequía y que las predicciones son negativas, pero debemos tranquilizarnos pues cuantos más meses pasen sin llover más cerca estaremos de que llueva.

En segundo lugar, una fuga se caracteriza por ser un problema que, una vez que aparece, siempre crece en magnitud y consecuencias, y nunca se puede esperar que remita por sí solo autocorrigiéndose.

En tercer lugar, una consideración resultado de la aplicación de la primera ley de Murphy sobre la perversidad de los elementos inanimados. La probabilidad de que en un determinado punto del circuito aparezca una fuga es directamente proporcional al cubo del valor económico de los daños colaterales que el chorro de vapor pueda producir en el entorno. En otras palabras, que no podemos dejar de considerar que los efectos de una fuga afectan no solo al punto del circuito en que se produce, sino que con mucha frecuencia causan daños en otros elementos de la caldera que se encuentran en las proximidades.

Una cuarta consideración es la económica. Por un lado la existencia de fugas en el circuito supone una pérdida de rendimiento del sistema, y a su vez la corrección del problema implica una parada de la caldera cuyas repercusiones económicas superan con creces cualquier otra consideración.

Una quinta consideración es la de seguridad para las personas ante los riesgos de una explosión. Dado el nivel de presiones que actualmente se manejan en los circuitos de las calderas de vapor, normalmente tenemos una cierta idea de como empieza una fuga, como un pequeño agujero por el que empieza a salir un chorro de vapor, pero sin embargo nunca tenemos tan claro como puede terminar el proceso en caso de que lo dejemos mucho tiempo sin tratar.

Posiblemente nos dejemos algunas considera-

ciones más en el tintero, pero en cualquier caso las anteriormente expuestas justifican más que de sobra la necesidad de disponer en las calderas de procedimientos de detección lo más precoz posible de las fugas, así como de medios de seguimiento fiables de la evolución de las mismas.

Un dispositivo utilizado desde el principio de la existencia de calderas de vapor, que se sigue utilizando actualmente, es el del detector óptico, acústico, térmico que lleva casco y se alimenta de bocata chorizo, también conocido como técnico de mantenimiento. La capacidad de detección de un hombre experto, que conoce a fondo su caldera, mirando, escuchando y tocando está lo suficientemente probada como para no desdeñarla, pero adolece de una serie de inconvenientes a considerar: Su coste es alto, pero dada su versatilidad resulta más eficaz en otro tipo de tareas de mayor envergadura. Su autonomía operativa está muy limitada a poco más de 8 horas diarias y necesita hasta 3 recargas energéticas, a veces más, a lo largo del día para funcionar. Su eficacia y precisión dependen del número de horas que lleve funcionando continuamente, lo que implica la necesidad de un periodo de parada diario para enfriar, recalibrar y reponer facultades. Su fragilidad es también muy alta, y caso de accidente importante la pérdida global que supone es demasiado importante como para asumirla. En definitiva, que aún contando con el técnico de mantenimiento para tomar control del problema una vez detectado, la disponibilidad de un sistema automático de detección y seguimiento de las fugas es un elemento a considerar muy seriamente en la explotación de cualquier caldera de vapor actual.

LA DETECCIÓN ACÚSTICA

Una propiedad común a toda fuga de vapor es la de generación de sonido. Las características de dicha emisión acústica varían sustancialmente de unos casos a otros, e incluso lo hacen a lo largo de la evolución temporal de uno determinado. En cualquier caso la experiencia demuestra que el sonido de una fuga de vapor tiende a ser un ruido blanco, (Fig. 1) es decir un sonido cuya energía está repartida por igual a lo largo de todo el espectro de frecuencias que lo componen, cuyo nivel acústico desde que aparece y hasta que se corrige siempre crece a lo largo del tiempo. El sonido de una fuga en un pequeño agujero es más agudo que el de uno grande, y depende en su composición de frecuencias de la forma. Por otro lado, la amplitud depende más de la magnitud de la fuga que de otras consideraciones.

Distribución espectral sonora típica de una fuga

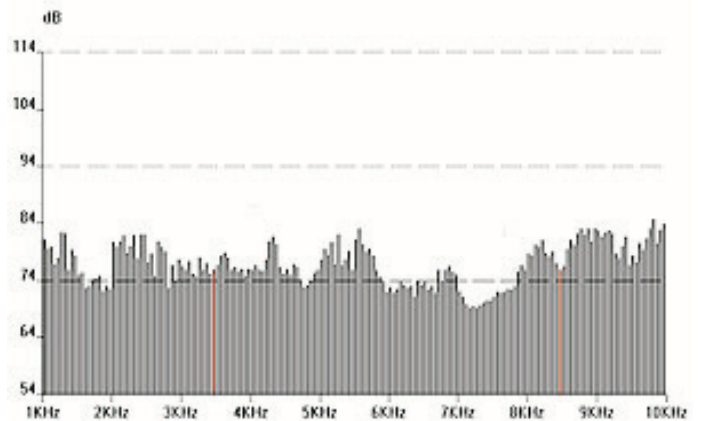


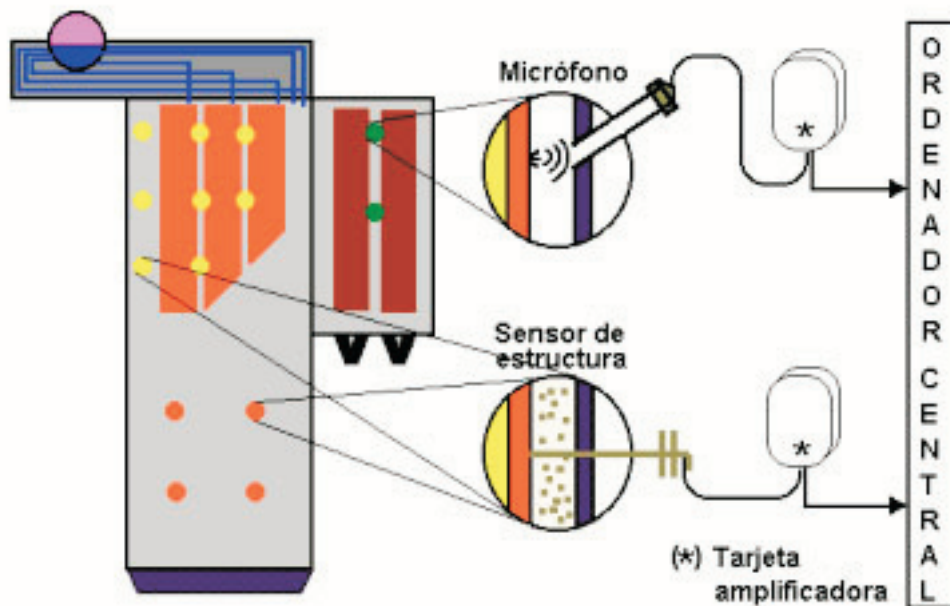
Figura 1

El sonido producido por una fuga se propaga tanto por el aire como por la estructura de la caldera, siendo posible por tanto detectar la presencia de fugas escuchando mediante dispositivos adecuados el ruido presente en los diversos puntos. Sin embargo, en cualquier sistema que se construya basado en este principio hay que considerar la presencia de otros sonidos que interfieren en el proceso de detección como son el propio ruido de la combustión, el ruido de los motores, ventiladores, compresores, etc. situados en diversos puntos de la estructura, los ruidos producidos por los operarios de servicio en las acciones de operación y mantenimiento, el ruido de los sopladores, etc. etc.

Dicho lo anterior, se deduce de inmediato que la detección de fugas por medios acústicos (Fig. 2) se basa en: Escuchar, medir niveles de ruido, comparar los niveles de cada instante con los niveles precedentes y finalmente filtrar o eliminar del análisis los ruidos interferentes.

La escucha se realiza mediante dos tipos de dispositivos diferentes: Micrófonos robustecidos para el caso del sonido transmitido a través del aire, y transductores especiales que se acoplan a la estructura metálica de la caldera para el caso de los sonidos que se propagan a través de esta. En ambos casos la señal obtenida se pasa por un amplificador dotado de filtros que adecuan su curva de respuesta a las necesidades del proceso de detección, obteniéndose a partir de ella una señal proporcional al nivel acústico en dB presente en el punto de medida.

Figura 2



Una característica importante a la hora de seleccionar un sistema de detección acústica de fugas es la de que en el mismo se disponga de algún sistema sencillo de calibración y verificación de los conjuntos micrófono / amplificador de medida. Por un lado conviene que estos dispongan en cada uno de ellos de un generador de ruido, activable cuando convenga, que permita hacer una verificación frecuente, del tipo pasa / no pasa, que asegure el funcionamiento de cada uno. Además deberemos disponer de un generador de ruido, de características adecuadas, que genere un nivel acústico conocido, que nos permita calibrar periódicamente cada uno de los conjuntos para asegurar que las medidas que proporcionan son correctas.

Otra característica importante a considerar es la de que el sistema permita a los operadores oír en la sala de control lo mismo que los micrófonos están oyendo en los diversos puntos de la caldera, ya que, tal como significábamos en párrafos anteriores, el operador humano, aunque limitado en algunos aspectos, resulta insustituible en su capacidad de análisis e interpretación de sonidos. En otras palabras, que de cada uno de los micrófonos debe bajar hasta sala de control la señal correspondiente a lo que está captando para que pueda ser reproducida en un altavoz o en unos auriculares.

Llegados a este punto, y, tal como ya hemos dicho, aunque los niveles absolutos de ruido medidos no son significativos en sí, resulta conveniente recordar de forma resumida algunos niveles de ruido típicos de nuestro entorno de vida actual para que nos hagamos una mejor idea sobre de qué estamos hablando:

- 50dB Calle con tráfico ligero.
- 60dB Típico en una oficina.

- 70dB Calle con tráfico pesado.
- 80dB Taller con maquinaria ligera.
- 90dB Típico en una caldera.
- 100dB Taller con maquinaria pesada.
- 110dB Martillazo sobre acero
- 120dB Umbral de dolor en el ser humano.

Dicho lo anterior, la experiencia ha demostrado que para una correcta detección basta con que el sistema de medida sea capaz de manejar un margen comprendido entre los 54 y 114 dB, siendo los valores en el entorno a los 90dB un punto de referencia a considerar inicialmente para la determinación de fugas.

En cualquier caso, la puesta en servicio de cualquiera de estos sistemas precisa de un periodo inicial de calibración, ajuste y aprendizaje por parte de los usuarios.

Inicialmente supongamos que el sistema lo hemos instalado en una caldera libre de fugas en la que empezamos a medir. Durante algunas semanas deberemos registrar de forma lo más continua posible la evolución del nivel de ruido en cada punto de medida. (Fig. 3).

Esto nos dará una curva que representará el comportamiento típico de ese punto, y que nos permitirá establecer cuales son sus valores de ruido máximo y mínimo para considerar el punto dentro de la normalidad. Posteriormente, valores por debajo del mínimo registrado podrán ser indicio de mal funcionamiento del micrófono, y valores por encima del máximo serán indicio de una posible fuga a considerar.

En cualquier caso, y basándonos en el hecho reiteradamente expuesto de que toda fuga siempre evoluciona a más, será el análisis de la evolución del ruido el que nos dará una mejor pista a la hora de identificarla.



Figura 3

Otro elemento a considerar en el periodo de ajuste y aprendizaje es el de identificar los ruidos interferentes para aprender a ignorarlos en el análisis de los registros, o, si el sistema lo permite, determinar como filtrarlos automáticamente para que no aparezcan. Uno de los más típicos es el correspondiente a la activación de los sopladores, que por fortuna suele ser de los más simples de filtrar, ya que o bien es periódico, con lo que se puede predecir cuando va a suceder, o bien se dispone de una señal eléctrica, que nos indica que está en curso, que puede ser inyectada al sistema para activar el filtrado, o bien se puede filtrar por sus características de aparición y desaparición bruscas asociadas a una duración relativamente corta. Otros ruidos esporádicos resultan más complicados de filtrar, siendo necesario un estudio particular para cada caso.

Hasta aquí hemos hablado de la posibilidad de

detectar la aparición de una fuga, pero no es menos importante la de poder determinar también con la mayor aproximación posible donde se ubica la misma.

En teoría, utilizando un número suficiente de micrófonos, haciendo un análisis estereofónico adecuado, debería ser posible determinar con bastante precisión la localización de una fuente de ruido. Sin embargo la complejidad de los fenómenos que intervienen en la transmisión del sonido dentro de la caldera hacen, hoy por hoy, prácticamente inviable el procedimiento. En cualquier caso, la experiencia demuestra que, disponiendo de un adecuado reparto de micrófonos en la caldera, basta con un simple análisis comparativo del incremento del ruido en los diversos puntos para dar al equipo de mantenimiento una información suficiente de localización que permita ir rápidamente al punto en cuestión.(Fig. 4 Fig. 5)



Figura 4



Figura 5

UBICACIÓN Y MONTAJE DE MICRÓFONOS

Una de las primeras cuestiones a dilucidar cuando se decide la instalación de un sistema de detección de fugas es la del número de micrófonos a instalar y su ubicación, ya que ello afecta muy directamente a la relación Nivel de protección / Coste del sistema. Cuantos más micrófonos pongamos mayor será el nivel de protección que nos proporcione el sistema, y mayor será el coste.

Los principales factores determinantes de esta decisión serán: La sensibilidad o alcance de los micrófonos a instalar, la estructura del sistema de tubos de vapor de la caldera y la experiencia previa.

La estructura de tubos de vapor de la caldera determina por un lado cuales son las zonas de mayor riesgo de fugas, ya que, evidentemente, donde no haya tubos no puede haberlas. Por otra parte, dentro de que haya zonas con mayor o menor densidad de tubos, la experiencia previa nos puede ayudar mucho a determinar donde ha habido una mayor incidencia de averías, y por tanto donde el riesgo es mayor.

Una vez determinadas las zonas de mayor riesgo deberemos proceder a establecer una distribución teórica de los micrófonos basándonos en sus características de sensibilidad o alcance. Dado que la zona cubierta por cada micrófono, considerando que lo montamos en

una pared de la caldera, es una semiesfera de xx metros de radio, lo ideal sería ubicar los mismos de tal forma que el volumen a cubrir estuviese comprendido dentro de la unión de los volúmenes de todas las semiesferas. Dicha distribución teórica nos servirá como punto de partida, y basados en ella podremos proceder a establecer la distribución real que estará condicionada en gran manera por la estructura de la caldera. Hay que tener en cuenta que con frecuencia será mejor aprovechar puertas y agujeros previamente existentes en la pared de la caldera antes que realizar nuevas perforaciones. Además, la presencia o no de plataformas y escaleras que faciliten el acceso a ciertos puntos podrá inclinar la balanza a la hora de seleccionar finalmente un punto respecto a otro.

El montaje de los micrófonos se hace típicamente en el extremo de una tubería de acero galvanizada cuyo extremo opuesto se suelda en un agujero dispuesto en la pared de la caldera. Dicho tubo actúa de guíaondas para el sonido procedente del interior de la caldera, y permite que llegue aquel al micrófono al tiempo que aísla suficientemente este de las duras condiciones existentes dentro. Los tubos se montan inclinados hacia arriba de forma que el micrófono quede mas alto que el agujero, y se los dota de una ligera curva en la parte inferior junto a la pared y de una válvula de bola junto el micrófono. De esta forma el micrófono no ve directamente el interior de la caldera y queda protegido de la radiación infrarroja pudiéndose aislar del interior para mantenimiento, las posibles cenizas que puedan entrar en el tubo tienden a caer dentro de nuevo y no se acumulan, y por último el micrófono queda separado lo suficiente de la pared como para que la temperatura se mantenga dentro de unos límites tolerables. En muchos casos se instala también

en el extremo superior del tubo una toma por la que se puede inyectar de forma periódica aire comprimido para limpiarle de posibles depósitos.

Junto a los micrófonos se instala también el circuito de amplificador y filtros que realiza la medida de la señal capturada por el micrófono y que convierte esta en otra del tipo bucle de corriente de 4 a 20 mA, proporcional al nivel acústico existente, que es la que se baja hasta la sala de control para transmitir la información.

EL SISTEMA EN SALA DE CONTROL

En los párrafos anteriores hemos establecido los principios de funcionamiento de la detección acústica de fugas, y hemos resaltado la conveniencia de que no solo bajen hasta la sala de control las señales que representan los niveles acústicos, sino que también lleguen las que representan directamente el ruido para que puedan ser escuchadas por el operador. Esto quiere decir que por un lado tiene que haber dispositivos que permitan al operador ver de forma clara los niveles de ruido existentes en cada punto y por otro tiene que haber un sistema acústico de altavoz y/ó auriculares que le permita escuchar el sonido captado por los diversos micrófonos.

La forma más simple y compacta de representar los niveles acústicos es la de utilizar visualizadores del tipo de barras luminosas cuya longitud iluminada represente el nivel sonoro existente en cada instante. Este tipo de visualizadores suele disponer también de elementos preajustables que permiten establecer niveles de alarma que ayudan al operador a la hora de vigilar el sistema, sin embargo, dado que no poseen tipo alguno de memoria a largo plazo, resulta difícil y costoso el hacer el seguimiento de la evolución del ruido en los diversos canales a lo largo del

tiempo, cosa que previamente hemos establecido como determinante para una correcta identificación de fugas.

Dicho lo anterior resulta evidente la conveniencia de utilizar en la sala de control sistemas de representación y seguimiento más sofisticados, con capacidad de almacenamiento de datos a lo largo del tiempo, que simplifiquen el análisis a posteriori de los sucesos ocurridos en cada canal.

Con frecuencia las señales se incorporan al sistema general de control de la planta, y es en este donde se implementan todas las funciones de seguimiento, representación gráfica y detección de alarmas.

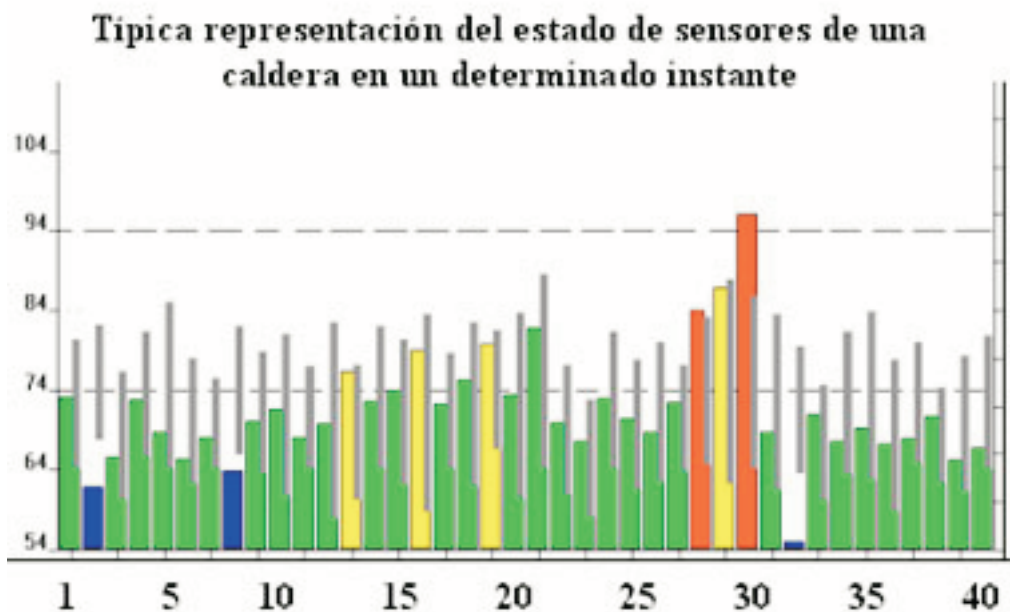
En otras ocasiones el sistema en sala de control se basa en un PC dedicado específicamente a ello, y es en él donde se representan los datos gráficos y se almacenan los datos históricos para el análisis final.

En cualquier caso, la funcionalidad mínima deseable en uno de estos sistemas sería:

Representación gráfica en forma de barras (Fig. 6) de los niveles acústicos de cada uno de los puntos de medida instalados en la caldera. Dicha representación conviene que disponga de un código de colores que permita verificar a simple vista y de forma simple cuales de ellos puedan estar en estado de prealarma o alarma.

Funciones de análisis de la distribución de frecuencias del ruido existente en cada canal. Representación gráfica del estado de los diversos canales, representados por colores, situando cada uno sobre su ubicación real en un mímico de la caldera.

Figura 6



Establecimiento de niveles de alarma, independientes por cada canal, que permitan resaltar de forma simple los siguientes estados: Posible avería del micrófono como consecuencia de que el nivel de ruido detectado es inferior al nivel típico del canal considerado. Situación de prealarma de fuga como consecuencia de haberse superado un primer nivel de ruido por encima del ruido normal del canal. Situación de alarma de fuga como consecuencia de haberse superado un segundo nivel de ruido, superior al anterior, por encima del ruido normal del canal.

Almacenamiento periódico de los datos de nivel de ruido de cada canal a lo largo del tiempo, para permitir los posteriores análisis de tendencias de evolución para la determinación de fugas.

Funciones de análisis y de representación gráfica de la información registrada a lo largo del tiempo que permitan visualizar las tendencias de cada canal, y deducir de ellas la posible aparición de fugas y su evolución. Típicamente interesa poder observar en un solo gráfico los datos correspondientes a los últimos 10 minutos, 2 horas, 24 horas y 60 días.

Funciones de filtrado de la información capturada que permitan eliminar los ruidos interferentes correspondientes a sopladores y similares.

CONCLUSIÓN

A la vista de lo expuesto hasta este punto parecen bastante evidentes las ventajas de invertir en un sistema de este tipo, ya que la detección precoz de cualquier fuga supone una importante reducción económica de los costes de explotación, a la par que incrementa los niveles de seguridad para el personal de mantenimiento.