



Ensayo por Emisión Acústica de sistemas de refrigeración industrial.

Carlos M. Ortega

VN Emisión Acústica, Riglos 155, CABA, 1424, Argentina

54 911 4901 2350 info@vn-amps.com.ar.

Dante D. Larotonda

Industria y Ambiente SA, Merlo 10, La Tablada (B1766HNA)

Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Palabra clave: Emisión Acústica, Refrigeración Industrial, Prueba Hidráulica

Resumen

El mantenimiento de la cadena de frío es necesario para asegurar la calidad de los productos frescos en los comercios y supermercados. Los encargados de refrigerar los productos son los llamados equipos de refrigeración industrial. Estos equipos son sistemas cerrados donde recirculan gases y líquidos por un conjunto de recipientes sometidos a presión interconectados. Estos recipientes a presión requieren prueba periódica establecida por la legislación a fin de asegurar su integridad y operación en forma segura. La tradicional prueba hidrostática resulta antieconómica por ser necesaria la parada y el desmontaje de los recipientes para ser ensayados individualmente y riesgosa para toda la instalación por el ingreso de agua al sistema, la cual crea formaciones de hielo en válvulas de expansión, bloqueo de las mismas y la posibilidad de explosión. La Emisión Acústica permite ensayar el equipo como un todo, sin retirarlo de servicio, mediante un equipo modular multicanal de EA y la manipulación del control electrónico del equipo de refrigeración industrial. Se presenta el arreglo para la medición, los resultados de ensayos realizados a equipos de refrigeración industrial, los lineamientos para la aplicación de los criterios de aceptación del código ASME⁽¹⁾ BPVC Sección V Artículo 12 2007 y la descripción de las mejoras del sistema para automatizarlo.

1. Introducción:

La Emisión Acústica ha crecido en términos de su aplicación en la última década. Se presenta un método de medición integral del típico equipo de refrigeración industrial basada en el tradicional ensayo de recipiente a presión.

2. Refrigeración por Compresión

Un equipo de refrigeración consta de 4 elementos fundamentales (Fig 1):

- 1.-compresor,
- 2.-condensador,
- 3.-válvula de expansión
- 4.-evaporador.

Además hay un conjunto de elementos accesorios que son (Fig 1): los separadores de líquido de alta y de baja, y el receptor de líquido condensado.

El separador de baja tiene por objeto que líquido no entre la compresor y así evitar el llamado golpe de líquido, que dañaría el equipo.

El separador de alta tiene por objeto que gas no llegue a la válvula de expansión.

El recipiente de líquido simplemente acumula el condensado.

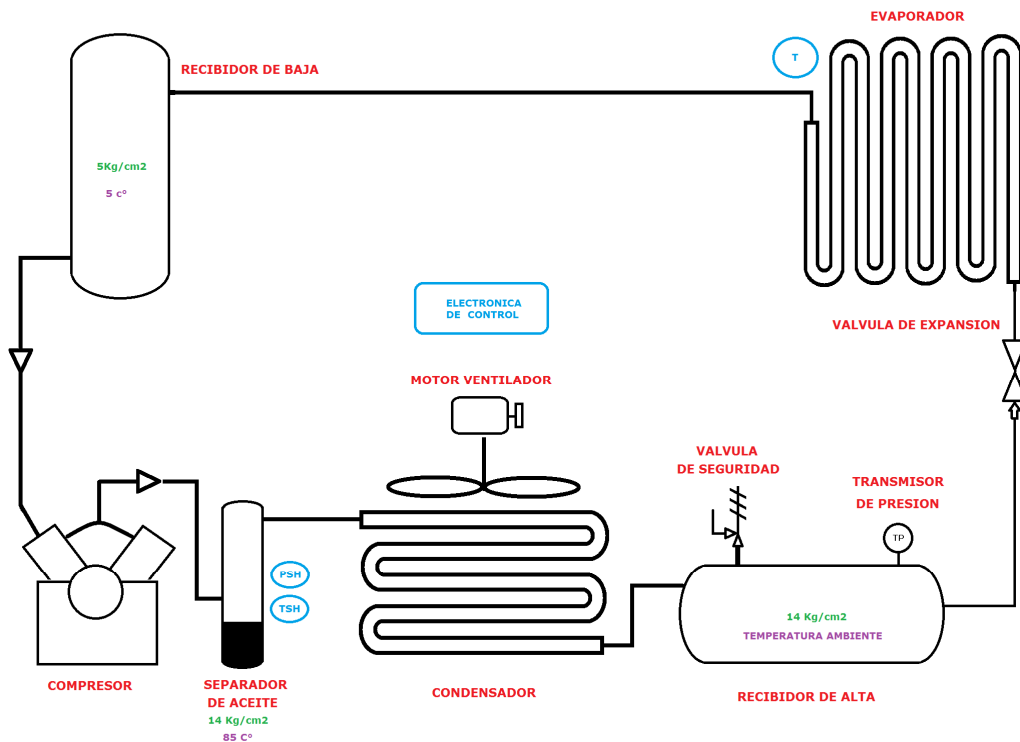


Fig. 1 Diagrama en bloques del sistema de Refrigeración Industrial

La refrigeración por compresión se basa en el aprovechamiento de las propiedades de ciertos fluidos, llamados líquidos o gases refrigerantes. La principal de estas es que en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT) se encuentran en estado gaseoso y al comprimirlos isoentrópicamente seguirá en estado gaseoso (Fig 2).

A su vez todo gas real al comprimirlo se calienta, (y por lo tanto en el proceso inverso de descompresión o expansión se enfriará). Si se toma uno de estos fluidos a CNPT, y lo se lo comprime isoentrópicamente (Fig 2), este se calienta, sigue estando en estado gaseoso pero ahora es susceptible de condensarse por enfriamiento. Ahora bien la practicidad de este tipo de sustancias es que una vez comprimidos se pueden condensar por enfriamiento a temperatura un poco mayor a la ambiente, o sea aprovechando el aire ambiente o, si se quiere, el agua de la que se disponga.

Esto hace que ahora se tenga un líquido comprimido y a temperatura apenas mayor a la ambiente.

Ahora si se toma el fluido y lo se lo expande adiabáticamente (Fig 2), el líquido se enfriará, conservando su estado. Lo interesante es que ahora tenemos un líquido muy frío, y en buenas condiciones de realizar un eficiente intercambio de calor. Ahora este líquido si se lo calienta se evaporará, y se volverá a tener un gas dispuesto a reiniciar el ciclo.

Al tramo del circuito desde la válvula de expansión hasta el compresor se lo conoce como lado de baja o zona de baja presión, y el tramo del circuito desde el compresor hasta la válvula de expansión se lo conoce como lado de alta o zona de alta presión .

En el ciclo de refrigeración ideal, en los balances de energía del equipo, se desprecia cualquier pérdida o ganancia de calor en las tuberías, considerando que los únicos intercambios de calor que se producen en el sistema, ocurren en el evaporador y en el condensador. Sin embargo, en el ciclo real el fluido refrigerante sufre una ligera caída de presión y temperatura debido a las pérdidas por fricción, sobre todo en evaporador y condensador y en las restricciones de las válvulas de admisión y de escape. Esto hace que el ciclo real resulte ligeramente distorsionado respecto del ciclo ideal de la Fig 2.

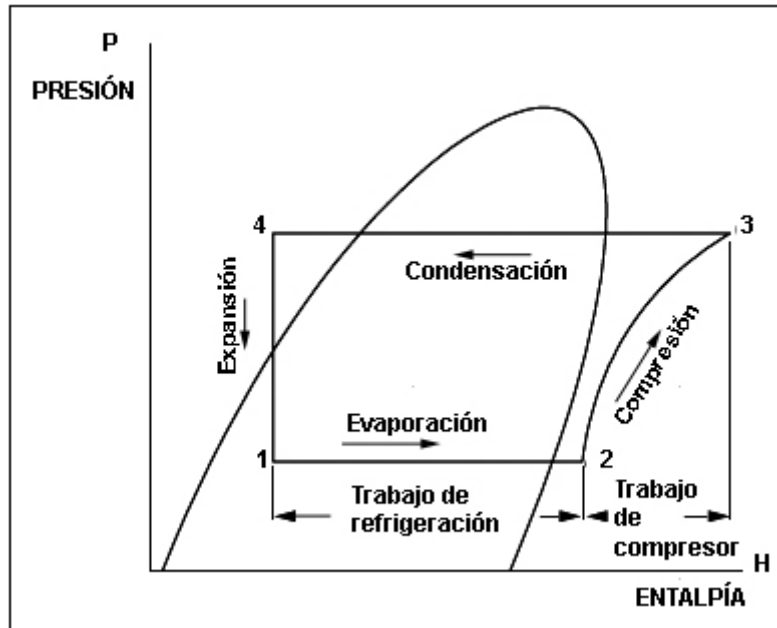


Fig. 2 Ciclo de Refrigeración en el diagrama Presión Entalpía

3. Ensayos de sistemas de Refrigeración Industrial

Los recipientes a presión que componen el sistema de refrigeración industrial deben ser sometidos a ensayos de integridad periódicamente como exige la legislación. La forma tradicional es desmontar los recipientes, para lo cual hay que vaciarlos y disponer de manera segura los materiales refrigerantes, y someterlos a prueba Hidrostática conocida como "Prueba Hidráulica".

La prueba hidráulica consiste en presurizar un recipiente sometido a presión a una presión mayor a la de trabajo con un fluido en estado líquido. El agua tiene la propiedad de ser muy incompresible, por ej.: a un tanque de 1000 litros con el agregado de medio litro de agua se le puede subir la presión alrededor de 10 bares, si el tanque tuviera una fuga por fisura, por ej.: de 5 ml se observaría una baja de 0,1 bar en la presión. o sea es muy sensible a cualquier fuga. A su vez si el recipiente presenta deformación por la suba de presión, se observa que el ingreso de agua es mucho mayor al requerido. Como ventaja adicional, si al ser sometido a la prueba el recipiente colapsará, inmediatamente la presión baja, y solo se desprendería ese medio litro de agua, sin absolutamente ningún riesgo para los operadores.

Si el recipiente sostiene la presión de prueba durante un período de tiempo determinado significa que:

- 1.-el recipiente no se deforma.
- 2.-no tiene fisuras o fugas

Dado que el recipiente fue testeado a presión mayor a la de trabajo (mínimo 20%), esto implica que durante un tiempo el mismo estará en condiciones seguras de operación a la presión de trabajo. No obstante la legislación obliga a que se controlen los espesores del recipiente, de modo que se estime la velocidad de corrosión del mismo, e ir calculando en esos periodos la presión de trabajo máxima para el mínimo espesor medido.

4. Peligros y problemas de la Prueba Hidráulica

El ensayo de Prueba Hidráulica encierra problemas y peligros:

- 1.-Es muy costosa.
- 2.-Vaciar los recipientes de fluido refrigerante, con el riesgo de expansión y fuga, dado que como se mencionó estos fluidos a CNPT son gases. Estas operaciones deben realizarse bajo presión.
- 3.-Una vez realizada la PH, se debe asegurar la absoluta ausencia de humedad en el recipiente, ya que el agua se considera altamente perjudicial para cualquier circuito frigorífico. La solidificación del agua provoca el colapso de instrumentos de control y válvulas, especialmente la de expansión llevando al sistema a un estado inseguro de operación.

5. Ensayo por el método de Emisión Acústica

Como todo sistema a presión, los equipos de Refrigeración Industrial pueden ser ensayados por el método de Emisión Acústica utilizando el código ASME⁽¹⁾ BPVC Sección V Artículo 12.

Los recipientes se dividen en:

- 1.-Recipientes en el tramo de alta. Recibidor de alta, separador de aceite (Fig. 1) (Fig. 2) (Fig. 3).
- 2.-Recipientes en la zona de baja. Recibidor de baja (Fig. 1) (Fig. 3).

Las fotos a continuación muestran un sistema de Refrigeración Industrial real ensayado por el método de Emisión Acústica. Pueden verse los tamaños relativos de los componentes. Recipientes chicos y bombas grandes lo que demuestra un gran movimiento de fluido refrigerante en el ciclo continuo de enfriamiento. En general para mejorar el rendimiento energético del ciclo de enfriamiento el tramo de baja está aislado con recubrimiento térmico a fin de no tomar calor del ambiente.



Fig 3 Bomba (primer plano) y Separador de Alta (fondo).

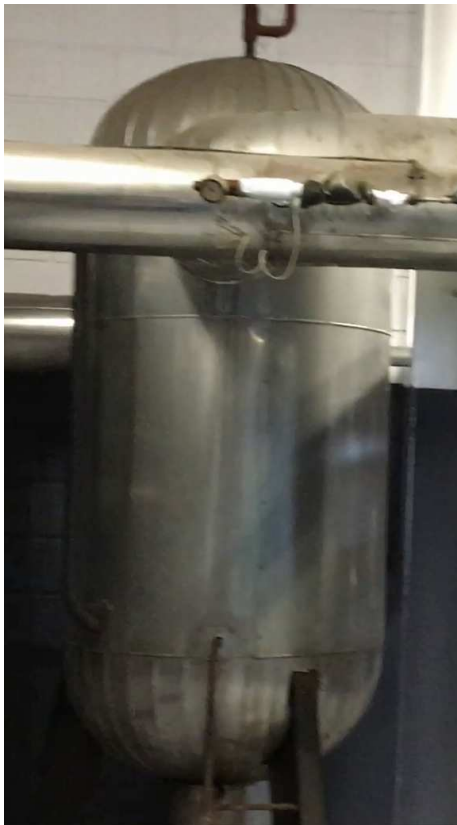


Fig 4 Separador de Alta con recubrimiento y separadores de aceite.

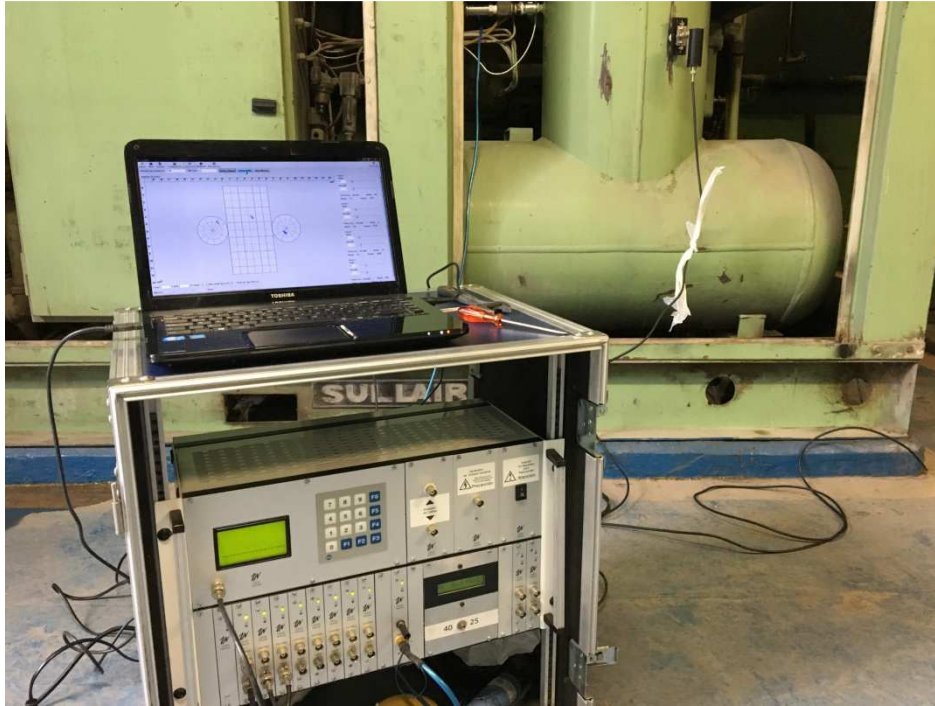


Fig. 5 Sistema VN520 Modular y un separador de aceite

Los recipientes del sistema están vinculados como lo muestra la Fig. 1 y no pueden ser ensayados separadamente ya que el aumento de presión en cualquiera de ellos modifica la presión de los demás. Teniendo en cuenta esto se enumeran los lineamientos para el ensayo de Emisión Acústica:

- 1.-Se ensaya el sistema como un todo.
- 2.-Se eleva la presión de todo el sistema con el esquema de aumentos y mesetas exigido por la ASME⁽²⁾.
- 3.-La referencia de presión para la registración, exigida por la ASME⁽³⁾ se toma en el recibidor de alta. Es por ello que hay un transmisor de presión calibrado en dicho recipiente (Fig. 1).
- 4.-Siendo recipientes de pequeño tamaño, máximo 3m³ para tanques y 0.1m³ para separadores, no se aplican algoritmos de localización más sofisticados que los zonales. La mayoría de los separadores llevan un solo sensor, los recibidores a lo sumo tres. Por el tipo de aplicación y el costo de reparación los tanques de los equipos de refrigeración en su gran mayoría no se reparan, se reemplazan, por esta razón la sofisticación en la localización es innecesaria^{(4) (5)}. En general los sensores colocados en los separadores de aceite deben llevar guías de ondas por el exceso de temperatura en la superficie metálica de estos recipientes.
- 5.-Se aplican los criterios de aceptación de la ASME⁽⁶⁾ como si cada tanque del sistema fuera una sola zona.
- 6.-Se utiliza el instrumento descrito en la ASME⁽⁷⁾.

5.1 Variación de la presión del sistema:

Los sistemas de Refrigeración Industrial están operados por un controlador electrónico realimentado cuyo parámetro estabilizado es la temperatura del vaporizador. Esta temperatura controlada es la de las góndolas donde se encuentran los productos frescos refrigerados. El control actúa sobre la bomba cuando la temperatura del vaporizador aumenta. Un presostato (PSH Fig. 1), en el tramo de alta, indica al control electrónico la presión máxima de trabajo. Por último una válvula de seguridad (Fig. 1) protege al sistema de una sobrepresión.

Para aumentar la presión del sistema y poder generar las rampas y mesetas necesarias para el ensayo de Emisión Acústica se actúa sobre el intercambio de calor del condensador con el ambiente. Apagando y encendiendo el flujo de aire forzado del condensador se puede generar una subida gradual de la presión y dejarla en un punto específico dentro del rango de operación segura del sistema. En general para poder manipular el condensador el sistema electrónico debe ser puesto en modo manual y prestar atención a el comportamiento local de los presostatos de la bomba o de los separadores de aceite a fin que estos no operen en el rango de presión del ensayo.

El sistema modular VN520 registra los eventos de Emisión Acústica y la presión durante el ensayo. Finalizado éste se procesan los datos y se generan los gráficos a continuación, a partir de los cuales y por medio de los criterios de evaluación podremos establecer la integridad del sistema de Refrigeración Industrial:

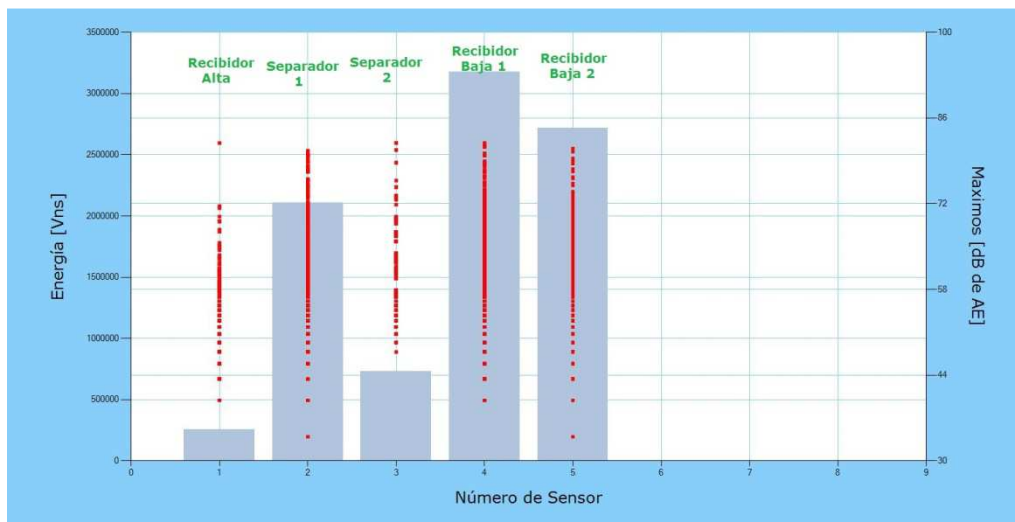


Fig 6 Energía y máximos por sensor (recipiente).

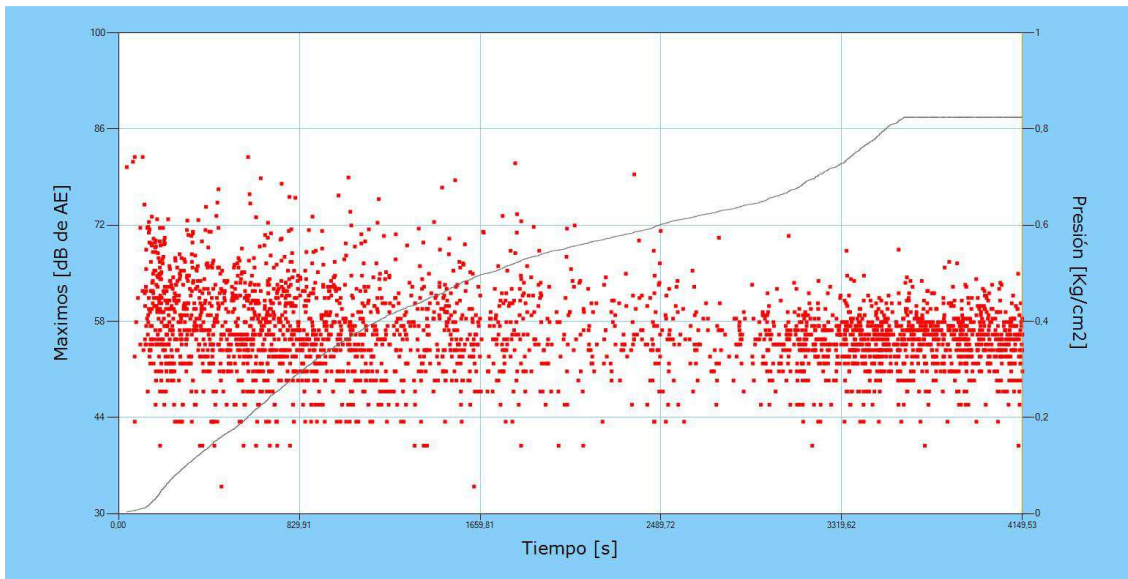


Fig. 7 Valor máximo del sensor que dispara con la presión como parámetro.

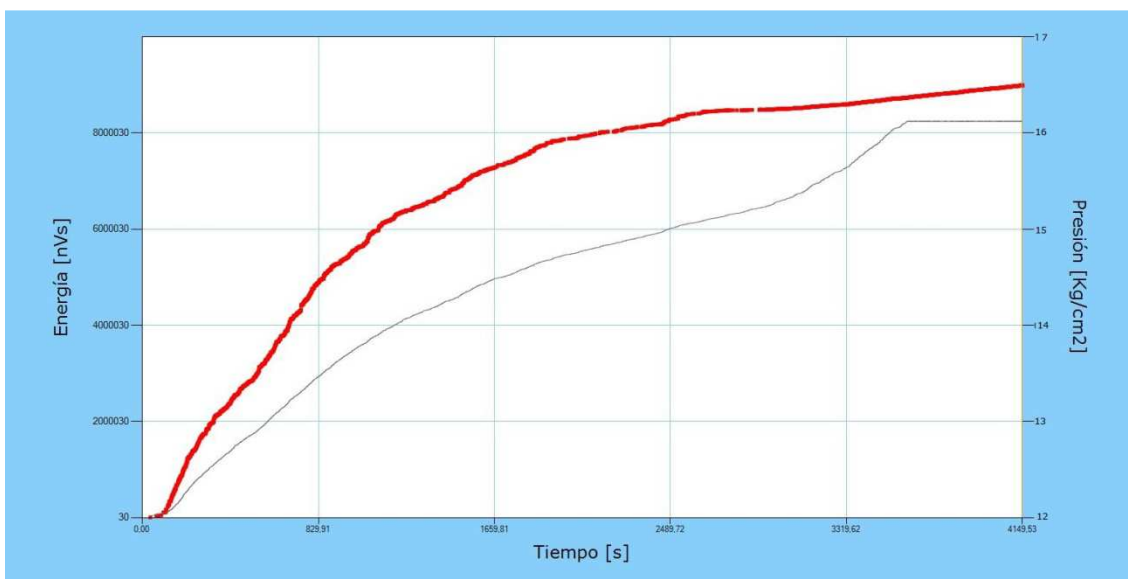


Fig. 8 Energía acumulada con la presión como parámetro.

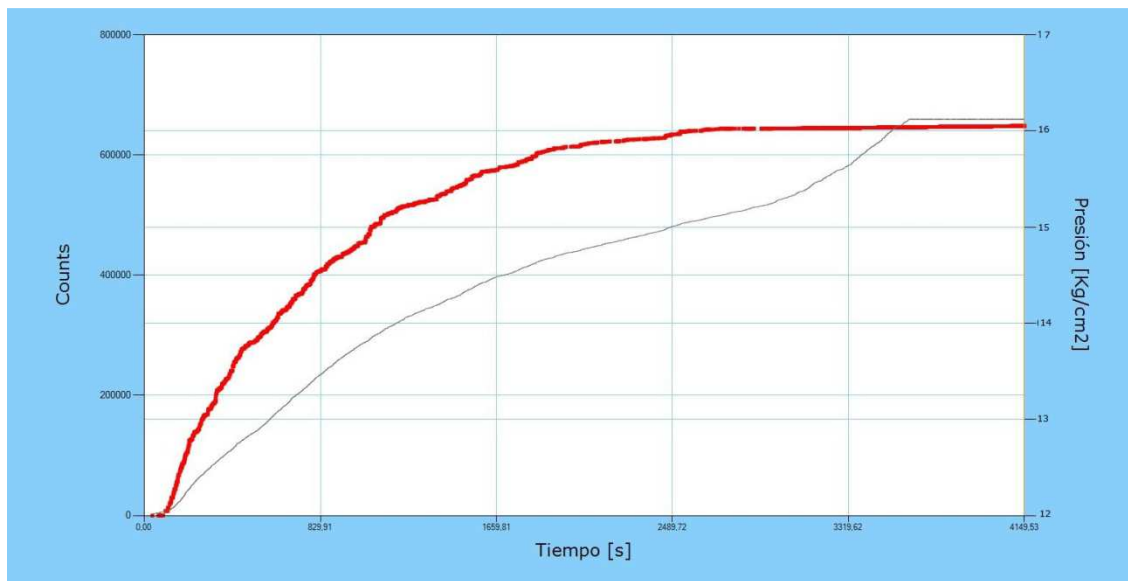


Fig. 9 Counts acumulada con la presión como parámetro.

5.2 Criterios de evaluación:

El criterio de evaluación sirve para aceptar o rechazar un sistema de Refrigeración Industrial bajo estudio. El código ASME⁽⁶⁾ expone un ejemplo de criterio de evaluación basado en la correlación de los datos coleccionados durante la medición. La terminología utilizada en la descripción de los criterios puede encontrarse en las normas Mercosur⁽⁸⁾.

Estos criterios pueden resumirse en:

- Aumento de cantidad de Hits con la presión.
- Incremento del Peak Amplitude de la señal recibida con la presión (Fig. 7).
- Aumento de la Energía con la presión.
- Aceleración en la cantidad de Hits con la presión.
- No más de N Hits luego del tiempo de retención T (10 o 30 minutos). Se considera tiempo de retención aquel de espera entre dos aumentos de presión y que establece la forma de escalera del ensayo.

Uno de los criterios de evaluación que muestra la integridad del sistema de Refrigeración Industrial es la energía en función del tiempo. El criterio establece que la energía de las emisiones no debe aumentar con el incremento de presión. La energía acumulada en función del tiempo es otra forma de exponer el criterio de evaluación anterior (Fig. 8). Se deben observar con atención aquellas curvas crecientes con concavidad positiva indicativas de aceleración de energía de las emisiones. Un crecimiento exponencial en la energía indica posible rotura catastrófica⁽⁹⁾.

El otro criterio de evaluación está referido a los hits y counts acumulados en función del tiempo (Fig. 9). Estos también deben tener concavidad negativa. El amesetamiento al finalizar los tiempos de sostenimiento (10 o 30 minutos) demuestra la integridad del sistema. Si se opta por la segunda escalera de presión, indicada como opcional por la ASME⁽¹⁰⁾, se observa el efecto Kaiser⁽¹¹⁾ de todo el sistema, pocas emisiones hasta llegar a la presión máxima de ensayo de la primera escalera.

5.3 Propuesta de mejora del sistema:

Una mejora propuesta para este sistema consiste en comandar el forzador de aire del intercambiador de calor del condensador con un sistema realimentado, a fin de mantener estabilizada la presión en el recibidor de alta durante el ensayo. De este modo se podrá trazar la rampa y la meseta de presión de modo automático.

6. Conclusiones:

Se ha presentado un método para el ensayo por Emisión Acústica de sistemas de Refrigeración Industrial. También se han enumerado los aspectos prácticos para el ensayo. Por último se agregan datos de un ensayo real, cómo interpretarlos y aplicarles los criterios de evaluación. El método por Emisión Acústica es el de menor costo y menor impacto dentro de los ensayos no destructivos para el ensayo de sistemas de refrigeración industrial. Viene a reemplazar la prueba hidráulica que es impracticable en el ámbito de los supermercados, permitiendo la reprobación de recipientes que de otro modo se encontrarían en falta respecto a la legislación.

Referencias:

- 1 The American Society of Mechanical Engineers ASME "Boiler and Pressure Vessel Ccode" Sección V Artículo 12 2007.
- 2 Idem párrafo T-1244.3.
- 3 P Mix, 'Introduction to Nondestructive Testing', John Wiley & Sons, Inc., Second Edition, pp. 27-30, 2005.
- 4 J H Kurz, S Köppel, L Linzer, B Schechinger, C U Grosse, 'Acoustic Emission Testing', Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 130-131, 2008.
- 5 The American Society of Mechanical Engineers ASME "Boiler and Pressure Vessel Ccode" Sección V Artículo 12 2007 párrafo T-1230c.
- 6 Idem párrafo T-1281.
- 7 Idem Appendix 1.
- 8 Norma Mercosur Ensayos no destructivos Ensayo por emisión acústica (EA) Terminología NM 302:2005.
- 9 The American Society of Mechanical Engineers, 'ASME Boilers and Pressure Vessels Code', Sección V, Artículo 12, párrafo T1244.3.3, 2007
- 10 The American Society of Mechanical Engineers ASME "Boiler and Pressure Vessel Ccode" Sección V Artículo 12 2007 párrafo T-1244.3.
- 11 J Kaiser, 'Untersuchungen über dem auftreten Geräuschen beim Zugversuch', Ph.D. thesis, Technische Hochschule, Munich, 1950.