

COMO UTILIZAR LA TERMODINAMICA EN EL TALLER

C.D. 536.7: 621.7

Luis Díaz Arcocha, Dr. I.I.

Cuando, después de un puñado de años de haber dejado la escuela, miramos hacia atrás por uno de tantos imperativos burocráticos que nos exigen preparar nuestro "currículum", puede suceder que nos demos cuenta de lo mucho que pudimos hacer y no lo hicimos. Pecados de omisión, que si bien fueron veniales, por cuanto tal vez no podía exigírsenos una total responsabilidad entonces, constituyeron una de las causas por la que tantas y tantas fábricas no mejoraron a tiempo y a su justo precio sus medios de producción. Uno de esos pecados de omisión, no el más importante, pero tampoco el más despreciable, ha sido, y tengo la impresión de que sigue siendo, la falta de aplicación de los conceptos termodinámicos en el mantenimiento y mejora de un buen número de instalaciones de nuestras empresas.

Al referirme a los talleres, quiero dirigirme a los típicos de transformación mecánica, pues doy por supuesto que estos pecados de omisión no son achacables a las fábricas incluidas en los sectores químico y metalúrgico.

El hecho es que, no sólo en la pequeña y mediana empresa, sino también en la grande, el mantenimiento está encomendado por lo general a profesionales medios, con gran antigüedad en la empresa, buena hoja de servicios, capacidad probada de trabajo, experiencia dilatada en la propia maquinaria, sentido de la organización de su departamento, pero sin una clara, profunda y bien aprendida formación teórica básica. Y es una lástima.

Por otra parte, los que tuvieron aquella formación teórica básica, la han olvidado por completo, si la aprendieron, y la han despreciado si no penetraron en ella. De este modo, han orientado, o tal vez

debamos decir, hemos orientado a nuestra profesión hacia derroteros y cometidos más en consonancia con lo que de nosotros se exigía. Organización, mando, producción, planificación y, sobre todo, problemas de personal.

Y así hemos abandonado un campo que estaba preparado para nosotros. Un campo en el que debíamos haber desarrollado las ideas básicas que pudimos haber aprendido y que se hallaban detrás de aquellos espantosos exámenes de nuestra carrera.

Sí, ya sé que es tarde para recomenzar el camino. Tarde para nosotros, pero no para los que empiezan ahora. A estos últimos, va dedicado este artículo, para que les sirva de guión, o, al menos de sugerencia, en un camino que pienso sería interesante para ellos y conveniente para todos que recorrieran.

La Termodinámica es aplicable a cualquier instalación. Sin embargo, vamos a simplificar el problema, limitándonos a:

— Instalaciones auxiliares

- Red de aire comprimido
- Red agua

— Instalaciones de producción

- Secaderos
- Calderas
- Aire acondicionado
- Refrigeración
- Humidificación
- Limpieza
- Hornos y estufas

Antes de nada, lo primero que deberemos hacer es elegir el sistema sobre el que vamos a realizar el estudio termodinámico. No debemos perder de vista que este tipo de estudios pasan por el análisis del estado de un fluido en momentos definidos.

La experiencia recomienda dividir una instalación en sistemas fraccionados, estudiando cada uno de

éstos por separado, antes de calcular y trazar el ciclo definitivo de todo el conjunto. Por ejemplo, si queremos analizar termodinámicamente una instalación frigorífica o de aire acondicionado que tenemos en el taller, deberemos fraccionar el sistema global de la instalación completa, en sistemas parciales (subsistemas) y analizar cada uno de éstos por separado. Es decir, aislaremos en la imaginación el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador, formando así 4 subsistemas. Por supuesto, en este caso, todos ellos son sistemas abiertos.

A continuación deberemos definir los procesos que ocurren en cada subsistema.

Así, en el compresor, sistema parcial o subsistema limitado por las paredes del circuito interno de la máquina, su válvula de aspiración (entrada) y su válvula de descarga (salida), el proceso será de compresión adiabática irreversible, en el condensador tendremos una condensación reversible, con cesión de calor a temperatura y presión constantes, en la válvula de expansión una expansión isoentálpica irreversible y en el evaporador una evaporación reversible, a presión y temperatura constantes, con absorción de calor. Simplemente con esto, habremos definido los procesos, lo que nos permitirá seleccionar las fórmulas oportunas para los cálculos que hayamos de desarrollar.

Para representar de alguna manera esos procesos que componen el ciclo de la instalación, precisaremos el tipo de fluido que alimenta el circuito estudiado, a fin de poder seleccionar el gráfico o cuadro de curvas características del mismo.

Supongamos que el fluido en cuestión sea un frigorígeno del

tipo fluorado (Freón), por ejemplo Freón 22 (R-22). Tenemos que conseguir un diagrama, en el que podamos seguir los procesos a que está sometido el R-22 y trazar su ciclo correspondiente.

La firma **Hoechst** dispone de unos diagramas tipo **Mollier**, muy buenos, con entalpías en abscisas y presiones en ordenadas (escalas logarítmicas), representando las zonas de líquido, líquido + vapor y vapor recalentado separadas por la clásica campana de saturación. En estos diagramas, en los que, además vienen las curvas de temperaturas, volúmenes específicos, y entropías (isotermas, isócoras, isoentrópicas), bastará con situar los cuatro vértices del ciclo para trazarlo completo.

Viene ahora el trabajo de campo propiamente dicho: la toma de datos.

Lo ideal sería que, mediante un termómetro y un manómetro portátiles, pudiéramos tomar temperaturas y presiones al principio y al final de cada uno de los procesos antes definidos, o lo que es igual, a la entrada o a la salida de cada uno de los subsistemas o sistemas fraccionados de la instalación, es decir:

- Aspiración y descarga del compresor.
- Entrada y salida del condensador. Al final del condensador suele instalarse un depósito, donde se almacena el fluido en estado líquido, de modo que como salida del condensador, podemos considerar la llave de salida del depósito de líquido.
- Antes y después de la válvula de expansión.
- Entrada y salida del evaporador.

Suele suceder que hay dificultades para medir las correspondientes presiones, bien por falta de grifos de toma, bien por falta de manómetros portátiles. No importa.

En todas las instalaciones frigoríficas existen manómetros fijos que dan directamente las presiones de aspiración y descarga.

Con éstas y un termómetro portátil se soluciona el problema.

Los termómetros portátiles son muy fáciles de adquirir hoy día. Son termómetros sin inercia, es decir, instantáneos, encerrados en estuches muy manejables y

provistos de un cable terminado en una sonda metálica o de bulbo, tal que el acceso con ella es siempre posible, por escondido y enrevesado que se halle el punto de toma. También los hay digitales, pero son algo más caros.

Naturalmente, estas mediciones realizadas sobre el exterior de los tubos conductores del fluido, no corresponden exactamente a las temperaturas reales de aquél, pero pueden tomarse como valores aproximados, sin que el error cometido sea tan importante como para influir decisivamente en los resultados finales del estudio. Téngase en cuenta que estamos hablando de talleres, no de laboratorios, y es usual introducir un coeficiente de seguridad en los cálculos finales.

Supongamos que hemos tomado la temperatura a la entrada del compresor, es decir, delante de la llave de aspiración, y nos ha dado T_1 . Este valor, juntamente con la presión P_1 que nos marca el manómetro fijo de aspiración, nos permite situar en el diagrama el punto 1, o de comienzo de la compresión.

Tomando T_2 en el tubo de descarga, justo después de la llave de salida del compresor, y este valor, juntamente con el de P_2 que nos da el manómetro fijo de descarga, nos permite situar en el diagrama el punto 2 del final de la compresión.

Unimos ambos puntos y tenemos ya representado el proceso de compresión 1-2, muy aproximado al real.

Hemos dicho antes que este proceso era adiabático irreversible, por tanto no isoentrópico. Si partiendo del punto 1, seguimos la isoentrópica correspondiente del diagrama hasta alcanzar la temperatura T_2 , tendríamos representado el proceso de compresión, si fuese isoentrópico. El punto final ahora sería 2' y cortaría a una línea isoentálpica en un punto de entalpía h_2 , mientras el punto 2 lo hacía con un valor h_2 diferente de h_2' . Se comprende, por consiguiente, que con ambos procesos así trazados podemos rápidamente establecer las bases de cálculo para estudiar los rendimientos termodinámicos del compresor, sus pérdidas, el trabajo exigido, etc. Además, conviene decir que, en el caso de no existir uno de los dos manóme-

tros que normalmente van fijados al compresor, o que no funciona por cualquier causa, podemos aproximar el ciclo a uno ideal de compresión isoentrópica. Esta aproximación no influyen demasiado cuando se trata de estudiar globalmente la instalación.

Pero sigamos.

Llevamos ahora la sonda del termómetro a la parte del tubo justo en la salida del condensador. Tomaremos el valor T_3 .

La presión y temperatura a la entrada del condensador serán aproximadamente las mismas que las de descarga del compresor (en realidad, un poco inferiores, pero despreciamos la diferencial), y en teoría debían ser las mismas que en la salida del condensador, luego, considerando el proceso de condensación, podemos representarlo, trazando una recta desde el punto 2 hasta cortar (a P y T constantes), la curva de líquido saturado (rama izquierda de la campana), prolongando el trazo hasta el punto 3 (P_3, T_3), viendo así la posible desviación entre teoría y realidad.

Ahora mediremos la temperatura antes (T_3) y después (T_3') del depósito de líquido. Nos dará una pequeña desviación respecto al punto 3 teórico del ciclo, conjunción de la salida del condensador y entrada en la válvula de expansión.

El punto P_3, T_3' será el 3', es decir, la entrada real en la válvula de expansión. Tomaremos la temperatura a la entrada del evaporador T_4 , que será el final de la expansión isoentálpica comenzada en 3', y considerando la presión de aspiración del compresor P_1 , trazaremos la recta de evaporación, suponiendo $P_4 = P_1$. Esto, si no tenemos manómetro, antes y después del evaporador.

Y ya tenemos el ciclo aproximado. Queremos insistir en el hecho de que un termómetro es suficiente para toda la toma de datos.

Una vez trazado el ciclo en el diagrama $H, \log. P$, podemos estudiar sobre él todo lo que queramos.

Lo anterior se ha hecho partiendo del supuesto de estudiar una instalación frigorífica. Sin embargo, el método es el mismo para cualquier tipo de instalación:

- Elección del sistema
- Definición del proceso

- Acopio diagrama del fluido
- Toma de datos
- Trazado del proceso

Algo que no se hace, y es una lástima, es el balance, tanto energético como exergético en el sistema considerado. Y no se hace por considerar que son teorías aprendidas, o simplemente escuchadas en una época pasada, y que sirvieron sólo para pasar unos exámenes. Es un error.

Mediante la aplicación del Primer Principio de la Termodinámica, podemos obtener datos muy interesantes sobre energías evacuadas en un sentido u otro, en forma de calor o de trabajo, y mediante la aplicación de Segundo Principio, añadimos datos sobre la variación de entropía del sistema, que nos serán utilísimos para establecer el balance de exergías, obteniendo así la información suficiente para mejorar el funcionamiento de una instalación.

Para el balance energético, aplicaremos simplemente el Primer Principio mediante la expresión:

$$q_{12} - w_{t12} = h_2 - h_1 + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1)$$

siendo:

- q_{12} = calor transferido en el proceso 1-2
- w_{t12} = trabajo técnico transferido en el proceso 1-2
- $h_2 - h_1$ = variación de entalpía en el proceso 1-2
- c_2 = velocidad del fluido en el estado 2
- c_1 = idem en el estado 1
- z_1 = referencia de nivel del sistema en el estado 1
- z_2 = idem en el estado 2
- g = aceleración de la gravedad ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Supondremos el cálculo aplicado a la unidad de masa del fluido. Asimismo, supondremos que el régimen es estacionario.

Para el balance exergético, utilizaremos:

$$e_1 + w_{t12} + e_{q12} = e_2 + w'_{t12} + e_{q'12} + \Delta e$$

siendo:

- e_1 = exergía del fluido en el estado 1

- e_2 = idem en el estado 2
- w_{t12} = trabajo técnico aportado al sistema en el proceso 1-2
- w'_{t12} = trabajo técnico cedido por el sistema en el proceso 1-2
- e_{q12} = exergía ganada por el sistema en una absorción de calor q_{12}
- $e_{q'12}$ = exergía cedida por el sistema en una cesión de calor q'_{12}
- Δe = pérdidas¹² de exergía por irreversibilidad en el proceso 1-2

Si los diagramas que poseemos del fluido son modernos, tendremos trazadas las líneas de exergía constante, con lo que tendremos asegurada esta información.

Si no disponemos de tales líneas, habremos de utilizar la expresión:

$$e_{t1} - e_{t2} = h_1 - h_2 + P_a (s_1 - s_2)$$

siendo:

- $e_{t1} - e_{t2}$ = variación de la exergía en el proceso 1-2
- $h_1 - h_2$ = variación de la entalpía en el proceso 1-2
- T_a = temperatura atmosférica (en °K)
- $s_1 - s_2$ = variación de la entalpía en el proceso 1-2

Naturalmente utilizaremos estas expresiones, que son las correspondientes a la exergía con trasvasamiento, ya que en un taller normalmente los sistemas elegidos para su estudio serán abiertos.

Para calcular la exergía ganada o cedida con la transferencia de calor q_{12} aplicaremos la expresión:

$$e_{q12} = 1 - \frac{T_a^1}{T_2} q_{12} \text{ de significado conocido.}$$

Una de las múltiples informaciones que podemos obtener con estos estudios es la de las pérdidas de exergía de una instalación. Partiendo de su conocimiento, podemos saber la energía que será posible recuperar en un proceso industrial dado, con los consiguientes ahorros económicos en toda la fabricación.

Normalmente, se necesitarán unas inversiones de no excesiva cuantía, centradas en la interposición de los clásicos cambiadores de calor.

Sin embargo, habrá ocasiones en que merezca la pena plantear una modificación de diseño, cuya rentabilidad inversora se someterá a estudio, e incluso pudiera darse el caso de pensar en la instalación de una bomba de calor para recuperar energía hasta entonces despreciada en vertidos calientes, mediante el consumo de otra energía (eléctrica) en cantidad muy inferior a la ganada. Esto no va contra ningún principio, puesto que en una bomba de calor, la energía obtenida es la suma de la eléctrica gastada y la calorífica obtenida de forma gratuita de su almacén de desechos.

Cuando pensamos en una inversión de este tipo, nos asustamos ante su inversión inicial. Y abandonamos la idea sin profundizar lo suficiente en el ahorro que podría suponer un funcionamiento mejorado de nuestras instalaciones.

En fin, no pretendo que este artículo sea una guía mágica para utilizar la termodinámica en el Taller. Sería absurdo aconsejar hablar inglés a quien no sabe más que castellano. Y la termodinámica es eso, un idioma. Lo que intento es incitar a usarlo a quien lo conoce o lo conoció en un tiempo. Merece la pena. No es imposible y ni siquiera difícil. Y con ello se gana rentabilidad, y sobre todo profesionalidad, algo de lo que se habla mucho ahora, tal vez demasiado.

Existen ya tentativas de estudios en este sentido. el Centro de Estudios de la Energía está subvencionando planes termodinámicos de ahorro energético mediante unidades móviles en toda la geografía española. La Asociación de la Industria Navarra (AIN) ya tiene unos cuantos realizados. La Universidad de Zaragoza está introduciéndolos en aplicaciones concretas industriales.

El Gobierno Vasco también tiene en proyecto la utilización de unidades de estudios energéticos para servir a la Industria.

Corresponde a los técnicos en general, y muy especialmente a los ingenieros industriales, montarse en el tren que ya está en marcha.

La termodinámica puede y debe aplicarse en los talleres. Sería una verdadera lástima que perdiéramos esta oportunidad. □