



Ahorros anuales relacionados a fugas de aire en compresores

Introducción

Los compresores utilizados en la industria son entre los equipos de mayor consumo de energía en la mayoría de las instalaciones de producción. Los equipos de producción no son veloces en identificar pérdidas de energía (y dinero) cuando se habla de temas de ahorrar aire comprimido ya que ven el aire como algo que es gratis; y el único momento donde las filtraciones de aire y los filtros de aire sucios son atendidos es cuando las pérdidas de aire y de presión interfieren con la operación normal de la planta. No obstante, poniendo atención a los sistemas de aire comprimido y practicando medidas simples de conservación pueden resultar en ahorros considerables de energía y costos para las plantas.

Existen varias maneras de detectar fugas de aire en un sistema de aire comprimido. Una manera moderna de revisar fugas de aire es mediante un detector de fugas acústico, el cual consiste en un micrófono direccional, amplificadores, filtros de audio e indicadores digitales.

La cantidad de energía mecánica perdida como unidad de masa de aire que se escapa a través de fugas es equivalente a la cantidad de energía que toma para comprimirla; es determinada por la ecuación 1.

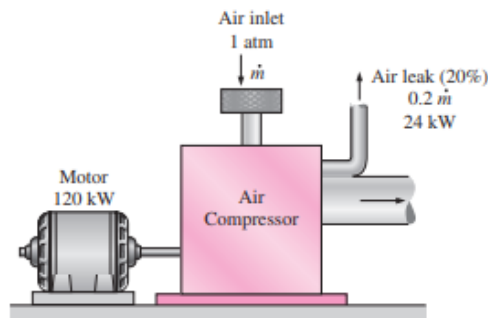


Figura 1. La energía desperdiciada al filtrarse el aire a través de fugas es equivalente a la energía requerida para comprimirla

Ejemplo

El turbo-compresor centrífugo de nitrógeno C-1001 de la planta ABC (Figura 2) mantiene las líneas a una presión de descarga de 2.77 MPa g (28.33 atm absolutas). La condición de entrada al compresor son 0.45 MPa g (5.24 atm absolutas). La temperatura ambiente del aire es de 38°C a la entrada del compresor y 42°C en las líneas de servicio.

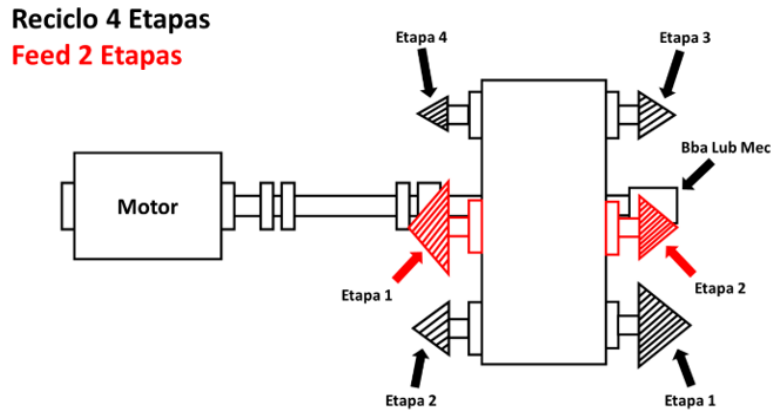


Figura 2. Esquema del turbo-compresor C-1001

El compresor opera dos procesos, uno de dos etapas y uno de cuatro. En este ejemplo se considerará únicamente el proceso de cuatro etapas. La capacidad de este proceso es 68,281 SCFM (pies cúbicos estándar por minuto) y su eficiencia se tomará al 80%. El coeficiente de descarga será 0.65.

El motor que da servicio al compresor es un motor trifásico inductivo de 11,000 kW, 1800 rpm y su eficiencia es del 90%. Se considerarán 360 días de operación sin paro, sumando un total de 8640 horas al año. El costo promedio de electricidad se tomará como 2.47 MXN/kWh.

Se desea determinar el ahorro de energía y dinero al año sellando una fuga en la línea equivalente a un hoyo de 3 mm.

Resolución de ejemplo

Se realizarán las siguientes suposiciones para resolver el problema:

1. Existen condiciones de operación en estado estacionario
2. Se tomará el gas nitrógeno como gas ideal
3. Se despreciarán las caídas de presión a lo largo de las líneas de compresión
4. El exponente de compresión isentrópico se tomará como 1.2.

El trabajo requerido para comprimir una masa de nitrógeno a 38°C desde una presión de 5.24 atm a 28.33 atm se obtiene mediante el uso de la ecuación 1 de la manera siguiente:

$$w_{comp,in} = \frac{nRT_1}{\eta_{comp}(n-1)} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \quad (1)$$

Donde:

n : Exponente de compresión politrópico ($n = 1.4$ cuando la compresión es isentrópica y $1 < n < 1.4$ cuando hay múltiples etapas)

η_{comp} : Eficiencia del compresor, cuyo valor típicamente está entre 0.7 y 0.9



$$w_{comp,in} = \frac{(1.2) \left(0.287 \frac{kJ}{kgK}\right) (311 K)}{(0.8)(1.2 - 1)} \left[\left(\frac{28.33 atm}{5.24 atm}\right)^{(1.2-1)/1.2} - 1 \right] = 217.435 \frac{kJ}{kg}$$

El área de la sección transversal de un agujero de 3 mm de diámetro se calcula:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (3 * 10^{-3} m)^2}{4} = 7.069 * 10^{-6} m^2$$

El flujo de masa de nitrógeno fugándose a través del agujero se determina utilizando la ecuación 2:

$$\dot{m}_{air} = C_{discharge} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \frac{P_{line}}{RT_{line}} A \sqrt{kR \left(\frac{2}{k+1}\right) T_{line}} \quad (2)$$

Donde:

k : razón del calor específico ($k= 1.4$ para aire y nitrógeno)

$C_{discharge}$: Coeficiente de descarga que considera las imperfecciones del flujo en el sitio de fuga. Varía desde 0.60 para un orificio con esquinas afiladas hasta 0.97 para un hoyo completamente circular. Los sitios de fuga son imperfectos en figura, por lo que el coeficiente de descarga puede ser tomado como 0.65 en ausencia de información real.

P_{line} : Presión de la línea en la zona de descarga

T_{line} : Temperatura de la línea en la zona de descarga

$$\dot{m}_{air} = (0.65) \left(\frac{2}{1.4+1}\right)^{\frac{1}{1.4-1}} \frac{2770 kPa}{\left(0.287 \frac{kJ}{kg * K}\right) (315 K)} (7.069 * 10^{-6} m^2) * \sqrt{(1.4) \left(0.287 \frac{kJ}{kg * K}\right) \left(\frac{2}{1.4+1}\right) (315 K)} = 0.029 \frac{kg}{s}$$

La potencia desperdiciada producto de la fuga de nitrógeno comprimido se determina con la ecuación 3:

$$P_{ahorrada} = P_{perdida} = \dot{m}_{air} w_{comp,in} \quad (3)$$

$$P_{perdida} = \left(0.029 \frac{kg}{s}\right) \left(217.435 \frac{kJ}{kg}\right) = 6.306 kW$$

El compresor opera 8640 horas al año y la eficiencia del motor es 0.92. Por lo tanto, los ahorros anuales de costos y energía por reparar la fuga se determinan de la siguiente manera:



$$\text{Ahorro de energía} = \frac{(\text{Potencia ahorrada})(\text{Horas de operación})}{\eta_{\text{motor}}} \quad (4)$$

$$\text{Ahorro de energía} = \frac{(6.306 \text{ kW}) \left(8640 \frac{\text{hr}}{\text{año}}\right)}{0.9} = 60,537.6 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro de costos} = (\text{Ahorro de energía})(\text{Costo unitario de energía}) \quad (5)$$

$$\text{Ahorro de costos} = \left(60,537.6 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}\right) \left(2.47 \frac{\text{MXN}}{\text{kWh}}\right) = 149,527.872 \text{ MXN/año}$$

Conclusión

Es imperativo tener en cuenta la cantidad de dinero que puede inculcar una planta como pérdidas al no estar conscientes sobre el desperdicio que puede generar una fuga como la presentada en el ejemplo. Puede que sea insignificante una simple fuga o la presencia de un ruido pequeño durante la operación de la planta; sin embargo, se pudo observar en el ejemplo presentado que la empresa puede ahorrar una suma de más de 150,000 MXN anuales. Un resultado en estos términos puede impulsar a la gestión de la empresa a tomar medidas de prevención para evitar caer en estos costos. De misma manera, se tiene que tomar en cuenta que el costo de electricidad para operar un compresor durante un año puede exceder el precio de compra del compresor mismo.

