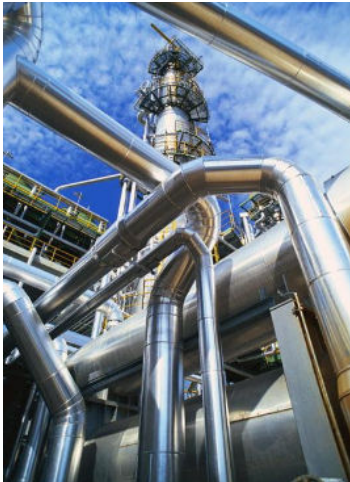


PÉRDIDA DE CARGA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.



Con unos costos de la energía en aumento y con unas limitaciones cada vez mayores a la emisión de gases de efecto invernadero, el diseño de equipos e instalaciones energéticamente eficientes se hace cada vez más importante. Muchos de los sistemas que transportan fluidos consumen una gran cantidad de energía. El agotamiento progresivo de los recursos energéticos, unido al crecimiento demográfico y continuo desarrollo económico hace prever que estos costos de la energía seguirán en aumento en el futuro. La reducción de pérdidas de carga en tuberías y componentes juega un papel importante aunque muchas veces no se le otorgue la importancia que realmente tiene.

Puesto que las pérdidas de carga no son otra cosa que una pérdida de energía, es importante que no sólo sean tratadas desde el punto de vista del correcto funcionamiento de la instalación, sino que también se tenga en cuenta las consideraciones económicas y medioambientales que implican. En el presente artículo mostraremos la importancia de este aspecto y plantearemos las pautas principales del método de cálculo a emplear.

El enfoque deberá basarse en un análisis de costos que nos permita tomar la decisión adecuada. Empleando tuberías y conductos mayores, conseguimos pérdidas de carga menores, aunque con un costo de compra mayor. También, en el caso de instalaciones nuevas si reducimos las pérdidas de carga necesitaremos bombas de menor potencia y por tanto de un menor coste (a partir de ahora, con el fin de simplificar, hablaremos de bombas, no obstante hay que tener en cuenta que lo comentado aplicará de igual forma a compresores, soplantes y ventiladores, es decir a cualquier equipo cuya función sea la de elevar la presión de un fluido). En definitiva, tendremos que evaluar tres costos:

- Energía perdida en las tuberías y accesorios.
- Inversión en equipos.
- Inversión en compra de tuberías y accesorios.

En relación con este último concepto no debemos de olvidarnos de algunos costos adicionales como son los correspondientes a los elementos de soportación de tubería (en algunos casos pueden ser muy significativos) y el montaje (costos de soldadura, pruebas, etc..).

El cálculo consistirá en el estudio de los tres costos citados anteriormente y en estudiar hasta qué punto el ahorro obtenido en la reducción de la pérdida de carga nos compensa respecto a las inversiones más altas a realizar.

La potencia perdida (P), debida a una pérdida de carga (Δp), viene dada por:

$$P (W) = \Delta p \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/h)} \cdot 27,25$$

Esta es la energía disipada y que por tanto ya no podremos recuperar. Sin embargo la potencia que tendremos que pagar será un valor superior puesto que hay que considerar también los rendimientos de bombas, compresores o ventiladores y de sus motores.

$$P_{\text{total}} (W) = P (W) / \eta = \Delta p \text{ (kg/cm}^2\text{)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/h)} \cdot 27,25 / \eta$$

Siendo η , el rendimiento combinado de la bomba y su motor.

Como ejemplo, consideremos una tubería con un diámetro interior de 244.48mm (10"), por la que debemos de transportar 380 m³/h de agua a 25°C. La longitud de la tubería es de 50 metros y dispone de 3 válvulas y 5 codos de 90°. Con estos datos, la pérdida de carga es de 0.275 kg/cm². Considerando un rendimiento de los equipos de bombeo del 70%, un costo de la energía de 0.14 €/kw·h) y suponiendo un funcionamiento de 6000 h/año, obtenemos un costo anual de energía perdida en el tramo de tubería de 3.417 €. Si mantenemos todos los datos, pero cambiamos a una tubería de un diámetro interno algo superior, de 293.75mm (12"), el importe anual pasaría a ser de tan sólo 1.553 €.

En cuanto a las emisiones de CO₂, en el primer caso son de 8.543 kg/año, mientras que en el caso, con tuberías de 12" son de 3.883 kg/año (basado en un valor de 0.35kg de CO₂ por kw·h). Por consiguiente, vemos que aumentando ligeramente el diámetro de la tubería, hemos obtenido un consumo de electricidad y unas emisiones de CO₂ bastante inferiores. Puede descargarse una aplicación gratuita para la realización de estos cálculos del siguiente enlace:

<http://www.herramientasingeneria.com/descargas/PressureDropCostCalculator.jar>

Indicar que la cantidad de CO₂ producida por cada kw·h depende principalmente del tipo de energía. No es lo mismo si la energía consumida se produjo mediante generación eólica que si se ha producido en centrales térmicas, que generan grandes emisiones de CO₂.

Merece la pena hacer notar que si los cálculos sobre el retorno de la inversión se realizan considerando los costos actuales de la energía, estos con seguridad serán conservadores, puesto que es de esperar que los costos de la energía sigan en aumento a medio y largo plazo

El estudio de la eficiencia de un sistema deberá de enfocarse como un conjunto, más que como la suma de las partes. Por ejemplo, en el caso de un sistema de refrigeración, una pérdida de carga excesiva en la tubería de aspiración de una bomba centrífuga puede conducir a una pérdida de rendimiento importante en la propia bomba. Generalmente una pérdida de carga no sólo implica

una pérdida de energía en la propia tubería, sino que además puede suponer un desequilibrio del sistema que puede conducir a una pérdida de rendimiento en otros componentes. Por esta razón es necesario asegurarse que todas las válvulas y accesorios tengan la menor pérdida de carga posible y que los diámetros internos sean los adecuados.

Por otra parte, los resultados teóricos en ocasiones pueden discrepar con los valores reales debido a errores en la instalación. Por ejemplo, volviendo otra vez al ejemplo anterior, si el aislamiento de la tubería de refrigerante al evaporador no es adecuado, se producirá una ganancia de calor que podría conducir a la vaporización del refrigerante dentro de la tubería. Esto no sólo es un problema porque el refrigerante no enfría el producto o espacio que debe, sino que además incrementa la pérdida de carga y supondrá una carga adicional para el compresor y consumo de energía innecesario.

Para conocer el punto real de trabajo de ventiladores, bombas y compresores, es necesario calcular previamente la pérdida de carga, con el fin de ubicar sobre la curva del equipo el punto de trabajo correspondiente.

1.- Procedimiento de cálculo de pérdida de carga.

Debido a que hay mucha bibliografía acerca de la realización de estos cálculos (por ejemplo ASHRAE) no entraremos en detalle sobre este asunto, sino que realizaremos un pequeño resumen que aclare los principales conceptos que pensamos son importantes.

Tuberías

La pérdida de carga en una tubería se determina mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, que es de aplicación en flujos completamente desarrollados de fluidos Newtonianos:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho g} = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

f = factor de fricción (adimensional)

Δh = pérdida de carga (m)

ρ = densidad (kg/m³)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro interno de tubería (m)

V = velocidad media (m/s)

En la ecuación anterior, vemos que para un diámetro y longitud determinada, la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad y al factor de fricción. El hecho de ser proporcional al cuadrado de la velocidad es el motivo por el cual utilizar un diámetro un poco más grande implica una gran disminución en la pérdida de carga. La velocidad también disminuye de forma inversamente proporcional al cuadrado del diámetro por lo que podemos concluir que la pérdida de carga disminuye con la cuarta potencia del diámetro.

No obstante, aunque la explicación anterior puede servir para entender lo que está sucediendo, hay que considerar también el factor de fricción, que es función de la rugosidad de la tubería, diámetro interior y número de Reynolds.

Sin embargo, estos cálculos no son inmediatos puesto que es necesario el uso de la ecuación de Colebrook, cuya resolución no es sencilla ya que deben de realizarse mediante iteraciones sucesivas. Otra opción es la utilización de diagramas o de algún software que simplifique el proceso (<http://www.herramientasingeneria.com/FluidosTuberias.htm>)

El número de Reynolds es un factor adimensional. Sirve para determinar si un flujo es laminar o turbulento. Los flujos laminares tienen lugar para números de Reynold bajos (<2000) y en ellos dominan las fuerzas viscosas. Los flujos turbulentos tienen lugar para los valores del número de Reynolds superiores a 4000 y entre 2000 y 4000 se considera que el flujo se encuentra en una zona crítica donde es difícil caracterizar su comportamiento.

En condiciones de flujo laminar en un fluido viscoso, la velocidad aumenta en dirección al centro de la tubería. La distribución de velocidades desde el eje de la tubería hasta las paredes es lo que se denomina perfil de velocidades. Se dice que tenemos un flujo laminar desarrollado cuando el perfil de velocidad no cambia en la dirección del flujo

Accesorios

Hasta ahora todos los cálculos han sido referidos a tramos rectos de tubería. Tenemos que considerar también los accesorios tales como, codos, tes, válvulas, etc. Para ello la fórmula general es la siguiente:

$$\Delta h = K \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Aquí se introduce un nuevo factor K, adimensional, que es función de la geometría y tamaño del accesorio.

En muchas ocasiones estas pérdidas de carga en accesorios deben despreciarse, cuando las longitudes de tramos rectos de tubería entre accesorios son muy grandes. Sin embargo, en otras ocasiones pueden suponer un porcentaje muy alto de las pérdidas de carga totales, por lo que no se deben subestimar.

A continuación indicamos como ejemplo algunos valores típicos del factor K para tuberías de 50mm y accesorios roscados. Es importante tener en cuenta que este factor depende de la geometría exacta del accesorio, tipo de accesorio y diámetro, por lo que estos valores son simplemente valores estimativos:

Accesorio	Factor K
Codo 90°, normal	1
Codo 90°, largo	0.42
Codo 45°	0.31
Válvula de globo	7
Válvula de compuerta	0.17
Válvula en ángulo	2.1
Válvula de retención.	2.3

Tabla1. Factor K para distintos accesorios.

Filtros

La pérdida de carga en los filtros depende del medio filtrante, de la propia carcasa del filtro y del caudal.

La pérdida de carga aumenta progresivamente con el tiempo, a medida que el filtro se va ensuciando. Una pérdida de carga excesiva indica que es necesario sustituir el filtro. En general seleccionar filtros con la menor pérdida de carga posible suele ser rentable, así como seleccionar una frecuencia adecuada para su sustitución.

Otros factores que afectan a la pérdida de carga:

Corrosión e incrustaciones: Cuando en una tubería se produce corrosión o incrustaciones, la rugosidad aumenta. En el caso de las incrustaciones, además, el diámetro interior se ve reducido, lo cual implica un aumento de la velocidad del fluido y un aumento de la pérdida de carga.

Viscosidad: Cuanto mayor es la viscosidad mayor es la fricción, es decir, para mover un fluido muy viscoso se requiere más energía que para mover un fluido menos viscoso. La viscosidad a su vez es función de la temperatura.

Uso de variadores de velocidad: El uso de variadores de velocidad permite adecuar la potencia entregada por los equipos a la demanda real. Al disminuir de potencia, la velocidad del fluido disminuye por lo que como efecto secundario existe una reducción de la pérdida de carga en las tuberías. Puesto que como vimos anteriormente la pérdida de carga es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad, una reducción en la velocidad supone una importante disminución en la pérdida de carga, por lo que además del ahorro en el consumo que tendría sobre la propia bomba, habrá que tener en cuenta la disminución de la pérdida de carga en las tuberías.

Más información:
www.herramientasingeneria.com