

Información técnica

Determinación de las necesidades de energía calorífica

Aplicaciones generales

El objetivo de cualquier aplicación de calentamiento es elevar o mantener la temperatura de un sólido, líquido o gas, hasta un nivel, o a un nivel, adecuado para un proceso o aplicación particular. La mayoría de las aplicaciones de calentamiento pueden ser divididas en dos situaciones básicas; aplicaciones que necesitan el mantenimiento de una temperatura constante y aplicaciones o procesos que necesitan que la pieza de trabajo sea calentado a varias temperaturas. Los principios y procedimientos de cálculo son similares para cualquier situación.

Aplicaciones de temperatura constante

La mayoría de las aplicaciones de temperatura constante son casos especiales donde la temperatura de un sólido, líquido o gas, se mantiene en un valor constante independientemente de la temperatura ambiente. Los factores y los cálculos de diseño están basados en condiciones de estado estable a una diferencia de temperatura constante. Los requisitos de pérdida de calor y energía se estiman usando las condiciones del "caso peor". Por esta razón, determinar los requisitos de energía calorífica para una aplicación de temperatura constante es relativamente simple. El calentamiento ambiental (temperatura del aire constante) y la protección contra la congelación para tuberías son ejemplos típicos de aplicaciones de temperatura constante. Las ecuaciones y procedimientos para el cálculo de los requisitos de calor para algunas aplicaciones se discuten más adelante en esta sección.

Aplicaciones de temperatura variable

Las aplicaciones (procesos) de temperatura variable por lo regular involucran una secuencia de arranque y tienen numerosas variables de funcionamiento. Los requisitos de energía total para aplicaciones de procesos son determinados como la suma de éstas variables calculadas. Como resultado, los cálculos de energía calorífica son por lo regular más complejos que para las aplicaciones de temperatura constante. Las variables son:

Total de energía calorífica absorbida: Es la suma de toda la energía calorífica absorbida durante el arranque o el funcionamiento, incluyendo la pieza de trabajo, el calor latente de fusión (o vaporización), estructura de materiales, contenedores y equipos.

Pérdida total de energía calorífica: Es la suma de la pérdida de energía calorífica por conducción, convección, radiación, ventilación y evaporación, durante el arranque o el funcionamiento.

Diseño del factor de protección: Un factor para compensar las incógnitas en el proceso o aplicación.

Aplicaciones de proceso

La selección y dimensionamiento de los equipos instalados en una aplicación de proceso están basados en el **mayor de los dos requisitos de energía calorífica calculados**. En la mayoría de las aplicaciones, los parámetros de arranque y funcionamiento representan dos condiciones marcadamente diferentes en el mismo proceso. Casi siempre, la energía calorífica necesaria para el arranque es considerablemente diferente a la que se necesita para las condiciones de funcionamiento. A fin de evaluar exactamente los requisitos de calor para una aplicación, cada condición debe ser evaluada. Los valores comparativos se definen a continuación:

- La energía calorífica calculada necesaria para el proceso de arranque sobre un período de tiempo específico.
- La energía calorífica calculada necesaria para mantener las temperaturas del proceso y las condiciones de funcionamiento sobre un tiempo del ciclo específico.

Determinación de la energía calorífica absorbida

El primer paso en la determinación de los requisitos de energía calorífica es determinar la energía calorífica absorbida. Si ocurre un cambio de estado como parte directa o indirecta del proceso, la energía calorífica necesaria para el cambio de estado debe ser incluida en los cálculos. Esta regla aplica si el cambio de estado ocurre durante el arranque o más tarde cuando el material está a temperatura de operación. Los factores a ser considerados en los cálculos de absorción de calor se muestran más abajo:

Requisitos para el arranque (calentamiento inicial)

- Calor absorbido durante el arranque por:
 - Materiales y productos de trabajo
 - Equipos (tanques, anaqueles, etc.)
- Absorción de calor latente en, o durante, el arranque:
 - Calor de fusión
 - Calor de vaporización
- Factor tiempo

Requisitos de operación (proceso)

- Calor absorbido durante el funcionamiento por:
 - Producto de trabajo en proceso
 - Equipos de carga (correas, anaqueles, etc.)
 - Estructura de materiales
- Absorción de calor latente durante la operación:
 - Calor de fusión
 - Calor de vaporización
- Factor tiempo (o ciclo), si corresponde

Determinación de la pérdida de energía calorífica

Los objetos o materiales que alcanzan temperaturas por encima de la temperatura ambiente circundante pierden energía calorífica mediante la conducción, convección y la radiación. Las superficies líquidas expuestas a la atmósfera pierden la energía calorífica a través de la evaporación. El cálculo de los requisitos de energía calorífica totales debe tomar en consideración estas pérdidas y debe proporcionar la energía suficiente para compensarlas. Las pérdidas de calor se estiman para ambas condiciones de arranque y operación, y se agregan al cálculo apropiado.

Pérdidas de calor en el arranque: Inicialmente, las pérdidas de calor en el arranque son cero debido a que los materiales y los equipos están a la temperatura ambiente. Las pérdidas de calor se incrementan a un máximo a la temperatura de operación. Por lo tanto, las pérdidas de calor en el arranque se basan por lo regular en un promedio de las pérdidas en el arranque y las pérdidas a la temperatura de operación.

Pérdidas de calor a la temperatura de operación.

Las pérdidas de calor están en un máximo a la temperatura de operación. Las pérdidas de calor a la temperatura de operación se toman en valor íntegro y se añaden a los requisitos totales de energía.

Cálculo de los factores de pérdida de calor

Las pérdidas de calor discutidas anteriormente pueden calcularse utilizando los factores a partir de las tablas y gráficos suministrados en esta sección. Las pérdidas totales incluyen radiación, convección y conducción de varias superficies y se expresan en vatios por hora por unidad de área de superficie por grado de temperatura ($W/h/pie^2/°F$).

Nota: Como los valores en las tablas ya están expresados en vatios por hora, ellos no están afectados por el factor tiempo "t" en las ecuaciones de energía calorífica.

Factores de protección del diseño

En muchas aplicaciones de calentamiento, las condiciones de funcionamiento, pérdidas de calor y otros factores que afectan el proceso pueden ser, solamente, estimados. En la mayoría de los cálculos se recomienda un factor de protección para compensar las incógnitas, tales como el aire de ventilación, aislamiento térmico, estructura de los materiales y fluctuaciones de voltaje. Como ejemplo, una fluctuación o caída de voltaje de un 5 % crea una alteración del 10 % de la potencia de salida de un calentador.

Los factores de seguridad varían del 10 al 25 % dependiendo del nivel de confianza del diseñador en el estimado de las incógnitas. El factor de protección es aplicado a la suma de los valores calculados para la energía calorífica absorbida y la pérdida de energía calorífica.

Información técnica

Determinación de los requisitos de energía calorífica

Requisitos totales de energía calorífica

El total de energía calorífica (Q_T) necesaria para una aplicación particular es la suma de un cierto número de variables. La ecuación de energía total básica es:

$$Q_T = Q_M + Q_L + \text{Factor de protección}$$

Donde:

Q_T = Total de energía necesaria en kilovatios

Q_M = Total de energía en kilovatios absorbida por la pieza de trabajo incluyendo el calor latente, estructura de los materiales, contenedores y equipos.

Q_L = Total de energía en kilovatios perdida de las superficies por conducción, convección, radiación, ventilación y evaporación.

Factor de protección = 10% a 25%

Mientras Q , es expresada tradicionalmente en unidades Btu (Unidades Térmicas Británicas), es más conveniente usar vatios o kilovatios cuando se emplea en calentadores eléctricos. La selección del equipo puede entonces basarse directamente en la potencia de diseño del calentador. Las ecuaciones y ejemplos en esta sección están convertidos a vatios.

Ecuaciones básicas de la energía calorífica

Las ecuaciones siguientes perfilan los cálculos necesarios para determinar las variables en la ecuación de energía total anterior. Las ecuaciones 1 y 2 se usan para determinar la energía calorífica absorbida por la pieza de trabajo y el equipo. En esta sección, se listan el calor específico y el calor latente de varios materiales en las tablas de propiedades de sólidos no metálicos, metales, líquidos, aire y gases. Las ecuaciones 3 y 4 se usan para determinar las pérdidas de energía calorífica. Las pérdidas de energía calorífica de las superficies pueden calcularse usando los valores de las curvas en los gráficos G-114S, G-125S, G-126S o G-128S. Las pérdidas por conducción se calculan usando la conductividad térmica o factor "k" listado en las tablas para propiedades de los materiales.

Ecuación 1: Energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de los materiales (sin cambio de estado). La energía calorífica absorbida está determinada por el peso de los materiales, el calor específico y el cambio en la temperatura. Algunos materiales, como el plomo, tienen calores específicos diferentes en diferentes estados. Cuando un cambio de estado ocurre, se necesitan dos cálculos para estos materiales, uno para el material sólido y uno para el líquido después que el sólido ha sido derretido.

$$Q_A = \frac{\text{Lbs} \times C_p \times \Delta T}{3412 \text{ Btu/kW}}$$

Donde:

Q_A = kWh necesario para elevar la temperatura

Lbs = Peso del material en libras

C_p = Calor específico del material (Btu/lb/°F)

ΔT = Cambio en la temperatura en °F
[T_2 (Final) - T_1 (Inicial)]

Ecuación 2: Energía calorífica para cambiar el estado de los materiales. La energía calorífica absorbida es determinada por el peso de los materiales y el calor latente de fusión o vaporización.

$$Q_{F \text{ o } Q_v} = \frac{\text{Lbs} \times H_{\text{fus}} \text{ o } H_{\text{vap}}}{3412 \text{ Btu/kW}}$$

Donde:

Q_F = kWh necesarios para cambiar el material de sólido a líquido

Q_v = kWh necesarios para cambiar el material de líquido a vapor o gas

Lbs = Peso del material en libras

H_{fus} = Calor de fusión (Btu/lb/°F)

H_{vap} = Calor de vaporización (Btu/lb/°F)

Ecuación 3: Pérdida de energía calorífica de las superficies. La pérdida de energía calorífica de las superficies por radiación, convección y evaporación se determina a partir del área de superficie y el factor de pérdida en vatios por pie cuadrado por hora.

$$Q_{LS} = \frac{A \times L_s}{1000 \text{ W/kW}}$$

Donde:

Q_{LS} = kWh pérdida de las superficies por radiación, convección y evaporación

A = Área de las superficies en pies cuadrados

L_s = Factor de pérdida en vatios por pie cuadrado a la temperatura final (W/pie²/h de los gráficos)¹

Ecuación 4: Pérdida de energía calorífica por conducción a través de materiales o aislantes. La pérdida de energía calorífica por conducción se determina por el área de superficie, la conductividad térmica del material, el espesor y la diferencia de temperatura a través del material.

$$Q_{LC} = \frac{A \times k \times \Delta T}{d \times 3412 \text{ Btu/kW}}$$

Donde:

Q_{LC} = kWh pérdida por conducción

A = Área de la superficie en pie cuadrado

k = Conductividad térmica del material en Btu/pulgada/pie cuadrado/hora (Btu/plg/pie²/h)

ΔT = Diferencia de temperatura en °F a través del material [$T_2 - T_1$]

d = Espesor del material en pulgadas

Resumen de los requisitos de energía

Las ecuaciones 5a y 5b se usan para resumir los resultados de todas las otras ecuaciones descritas en esta página. Estas dos ecuaciones determinan los requisitos de energía total para las dos condiciones del proceso, arranque y funcionamiento.

Ecuación 5a: Energía calorífica necesaria para el arranque.

$$Q_T = \left(\frac{Q_A + Q_F \text{ [o } Q_v]}{t} + \frac{Q_{LS} + Q_{LC}}{2} \right) (1 + SF)$$

Donde:

Q_T = La energía total necesaria en kilovatios

Q_A = kWh necesarios para elevar la temperatura

Q_F = kWh necesarios para cambiar el material de sólido a líquido

Q_v = kWh necesarios para cambiar el material de líquido a vapor o a gas

Q_{LS} = kWh de pérdida de las superficies por radiación, convección y evaporación

Q_{LC} = kWh de pérdida por conducción

SF = Factor de protección (en por ciento)

t = Duración del arranque en horas²

Ecuación 5b: Energía calorífica necesaria para mantener el funcionamiento o proceso³.

$$Q_T = (Q_A + Q_F \text{ [o } Q_v] + Q_{LS} + Q_{LC})(1 + SF)$$

Donde:

Q_T = La energía total necesaria en kilovatios

Q_A = kWh necesarios para elevar la temperatura del material añadido

Q_F = kWh necesarios para cambiar el material añadido de sólido a líquido

Q_v = kWh necesarios para cambiar el material añadido de líquido a vapor o a gas

Q_{LS} = kWh de pérdida de las superficies por radiación, convección y evaporación

Q_{LC} = kWh de pérdida por conducción

SF = Factor de protección (en por ciento)

Dimensionamiento y selección de los equipos

El tamaño y la capacidad de los equipos de calentamiento instalados se basa en la utilización del resultado más alto calculado en la Ecuación 5a o 5b.

Notas —

1. **Los factores de pérdida** de los gráficos en esta sección incluyen pérdidas por radiación, convección y evaporación a menos que se indique de otra manera.
2. **El tiempo (t)** es factorizado dentro de la ecuación de arranque debido a que el arranque de un proceso puede variar desde un período de minutos u horas hasta días.
3. **Los requisitos de funcionamiento** están normalmente basados en un período de tiempo estándar de una hora ($t=1$). Si los tiempos de ciclos y los requisitos de energía calorífica no coinciden con intervalos de a cada hora, ellos deben ser recalculados para una base de tiempo por hora.