

## Información técnica

### Determinación de los requisitos de energía calorífica. Calentamiento de líquidos

#### Pasos típicos en la determinación de los requisitos totales de energía

La mayoría de los problemas de calentamiento involucran tres pasos básicos:

- Determinar** la capacidad en kW que se necesita para llevar la aplicación hasta la temperatura de operación en el tiempo deseado.
- Calcular** la capacidad en kW necesaria para mantener la temperatura de operación.
- Seleccionar** la cantidad y el tipo de calentadores necesarios para suministrar los kW que se necesitan.

**Nota:** Algunas aplicaciones, tales como calentamiento instantáneo de gas o aire dentro de conductos, calefacción ambiental y calentamiento con un cable calentador de tuberías, sólo necesitan los cálculos de los kW de funcionamiento y selección de los calentadores.

#### Consideraciones de diseño

Con el fin de calcular los requisitos de capacidad en kW inicial y de funcionamiento, se deben considerar los siguientes los factores:

- Tiempo de calentamiento especificado
- Temperaturas de arranque y funcionamiento
- Propiedades térmicas del material(es) que se está calentando
- Peso de los material(es) que se están calentando
- Peso del contenedor y el equipo que contiene el material que se está calentando
- Peso de la estructura del material (requisitos por hora)
- Calor llevado lejos por los productos que se están procesando o los equipos pasando a través del área calentada
- Calor absorbido debido a cambios de estado
- Propiedades térmicas y espesor del aislante
- Pérdidas de calor de la superficie del material y/o el contenedor hacia el ambiente circundante.

#### Ejemplo de calentamiento de líquidos

Una de las aplicaciones de calentamiento eléctrico más común es el calentamiento de líquidos por inmersión directa. El siguiente ejemplo ilustra los pasos en la determinación de los requisitos totales de energía de una aplicación por inmersión directa típica.

**Aplicación.** Un tanque de enjuague final necesita agua a 82 °C (180 °F). El tanque tiene unas dimensiones de 2 pies de anchura por 4 pies de largo por 2 pies de alto, no está aislado y tiene la parte superior abierta. El tanque está fabricado de acero de 3/8 pulgada y contiene 100 galones de agua a 21 °C (70 °F) al inicio. Se alimenta agua con una temperatura de 16 °C (60 °F) para completar dentro del tanque a razón de 40 galones por hora durante el proceso. Hay una capucha de descarga encima del tanque y la humedad relativa en el área es alta. El producto final es el enjuague de 300 lbs de acero por hora.

**Ejemplo:** Calentar el agua a 82 °C (180 °F) en tres horas y después calentar 40 galones por hora de agua para completar desde 16 °C (60 °F) hasta 82 °C (180 °F).

Calor específico del acero = 0.12 Btu/lb/°F  
Calor específico del agua = 1.00 Btu/lb/°F  
Peso del acero = 490 lb/pie<sup>3</sup>  
Peso del agua = 8.345 lb/gal

**Para encontrar la capacidad de calentamiento inicial (arranque):**

$$Q_s = \left( \frac{Q_A + Q_C}{t} + \frac{Q_{LS}}{2} \right) (1 + SF)$$

Donde:

$Q_s$  = La energía total necesaria en kilovatios  
 $Q_A$  = kWh necesarios para elevar la temperatura del agua  
 $Q_C$  = kWh necesarios para elevar la temperatura del tanque de acero  
 $Q_{LS}$  = kWh de pérdida de las superficies por radiación, convección y evaporación  
SF = Factor de protección  
t = Duración del arranque en horas (3)

**kW para calentar el agua:**

$$\frac{100 \text{ gal} \times 8.345 \text{ lb/gal} \times 1.0 \text{ Btu/lb} (180 - 70^\circ\text{F})}{3412 \text{ Btu/kW}}$$

$$Q_A = 26.9 \text{ kW}$$

**kW para calentar el tanque de acero:**

$$\text{lbs de acero} = \text{área} \times \text{espesor} \times 490 \text{ lbs/pie}^3$$

$$32 \text{ pie}^2 \times \frac{0.375 \text{ plg}}{12} \times 490 \text{ lb/pie}^3 = 490 \text{ lbs}$$

$$\frac{490 \text{ lbs} \times 0.12 \text{ Btu/lb} (180 - 70^\circ\text{F})}{3412 \text{ Btu/kW}}$$

$$Q_C = 1.89 \text{ kW}$$

**Pérdida de calor de las superficies**

$$Q_{LS} = L_{sw} + L_{sc}$$

Donde:

$Q_{LS}$  = kWh de pérdida de todas las superficies

$L_{sw}$  = Pérdidas de la superficie del agua

$L_{sc}$  = Pérdidas de la superficie del tanque

$L_{sw}$  = Pérdidas de la superficie del agua  
(Gráfica G126S, curva 2 fps a 60 % humedad relativa)

$$\frac{8 \text{ pie}^2 \times 550 \text{ W/pie}^2}{1000 \text{ W/kW}} = 4.4 \text{ kW}$$

$L_{sc}$  = Pérdidas de superficie de las paredes no aisladas del tanque (Gráfico G125S)

$$\frac{32 \text{ pie}^2 \times 0.6 \text{ W/pie}^2 \times (180 - 70^\circ\text{F})}{1000 \text{ W/kW}} = 2.11 \text{ kW}$$

**Calor necesario para el arranque:**

$$\left( \frac{26.9 \text{ kW} + 1.89 \text{ kW}}{3 \text{ hrs}} + \frac{4.4 \text{ kW} + 2.11 \text{ kW}}{2} \right) \times 1.2$$

$$Q_s = 15.42 \text{ kW}$$

**Para encontrar el calor necesario para el funcionamiento:**

$$Q_o = (Q_{wo} + Q_{LS} + Q_{ws})(1 + SF)$$

Donde:

$Q_{wo}$  = kW para calentar el agua adicional

$$\frac{40 \text{ gal} \times 8.345 \text{ lb/gal} \times 1.0 \text{ Btu/lb} (180 - 60^\circ\text{F})}{3412 \text{ Btu/kW}}$$

$$Q_{wo} = 11.7 \text{ kW}$$

$$Q_{ws} = \text{kW para calentar acero } 300 \text{ lbs} \times 0.12 \times (180 - 60^\circ\text{F})/3412 = 1.27 \text{ kW}$$

**Calor necesario para el funcionamiento:**

$$Q_o = (11.7 \text{ kW} + 1.27 \text{ kW} + 4.4 \text{ kW} + 2.11 \text{ kW}) 1.2$$

$$Q_o = 23.38 \text{ kW}$$

**Capacidad instalada:** Dado que el calor necesario para el funcionamiento (21.85 kW) es mayor que el calor necesario para el arranque (15.42 kW), la capacidad de calentamiento instalada debe basarse en el calor necesario para el funcionamiento. Con 22 kW instalados, el tiempo de calentamiento inicial real será menor de 3 horas.

**Equipos recomendados.** Se recomiendan cajas de conexiones resistentes a la humedad para aplicaciones de calentamiento de líquido industriales. Instale dos calentadores tipo tapón roscado 12 kW MT-2120E2 o 12 kW MT-3120E2, o dos tipo sobre el lado 12 kW KTLC-312A en stock con un control automático de temperatura. El control automático de temperatura limitará el consumo de kWh para las necesidades reales durante el funcionamiento. Se recomienda además usar un control de apagado por debajo del nivel de agua.

## Información técnica

### Determinación de los requisitos de energía calorífica

#### Calentamiento por flujo de agua en un paso

Las aplicaciones de calentador por circulación frecuentemente implican el calentamiento por flujo en un paso sin recirculación del medio calentado. Estas aplicaciones prácticamente no tienen ningún requisito de arranque. La ecuación mostrada más abajo puede usarse para determinar los kilovatios necesarios para la mayoría de las aplicaciones de flujo en un paso. La tasa de flujo máxima del medio calentado, la temperatura mínima en la entrada del calentador y la máxima temperatura de salida deseada, se usan siempre en estos cálculos. Se recomienda un factor de protección del 20 % para tolerar pérdidas de calor en el sistema de tuberías, variaciones de voltaje y variaciones en la tasa de flujo.

$$Q = \frac{F \times C_p \times \Delta T \times SF}{3412 \text{ Btu/kW}}$$

Donde:

Q = Potencia en kilovatios

F = Tasa de flujo en lbs/h

C<sub>p</sub> = Calor específico en Btu/lb/°F

ΔT = Incremento de temperatura en °F

SF = Factor de protección

**Ejemplo:** Caliente 5 gpm de agua desde 21 °F (70 °F) hasta 46 °F (115 °F) en un sólo paso a través de un calentador de circulación.

**Paso 1:** Determine la tasa de flujo en lbs/h. La densidad del agua es de 8.35 lbs/gal  
5 gpm x 8.35 lbs/gal x 60 min = 2505 lbs/hr

**Step 2 —** Calculte kW:

C<sub>p</sub> = Calor específico del agua = 1 Btu/lb/°F

$$kW = \frac{2505 \text{ lbs} \times 1 \text{ Btu/lb/°F} \times (115 - 70^\circ\text{F})}{3412 \text{ Btu/kW}} \times 1.2 \text{ SF}$$

kW = 39.6 kW

#### Incremento de temperatura vs. flujo de agua<sup>1</sup>

Incremento de temp. (°F)	Capacidad del calentador (kW)						
	6	9	12	15	18	24	30
20	122	184	245	306	368	490	613
30	81	122	163	204	245	327	409
40	61	92	122	153	184	245	306
50	49	73	98	122	147	196	245
60	40	61	81	102	122	163	204
70	35	52	70	87	105	140	175
80	30	46	61	76	92	122	153
90	27	40	54	68	81	109	136
100	24	36	49	61	73	98	122
110	22	33	44	55	66	89	111
120	20	30	40	51	61	81	102
130	18	28	37	47	56	75	94

1. El factor de protección y las pérdidas no están incluidos.

#### Calentamiento por flujo en un paso a través de aceite

##### Calentamiento de aceite con calentadores de circulación:

El proceso para el cálculo de los requisitos para calentar aceite en un paso con calentadores de circulación es similar al calentamiento de agua. El peso del líquido que se está calentando se factoriza por el peso específico del aceite. El peso específico de un aceite particular puede ser determinado mediante las gráficas de las propiedades de los materiales o puede ser calculado a partir del peso por pie cúbico relativo al agua.

**Ejemplo:** Caliente 3 gpm de aceite combustible #4, con un peso de aproximadamente 56 lbs/pie<sup>3</sup> desde 10 °C (50 °F) hasta 38 °C (100 °F).

**Paso 1:** Determine la tasa de flujo en lbs/h

Specific gravity = 56 lbs/ft<sup>3</sup> ÷ 62.4 lbs/ft<sup>3</sup> = 0.9

3 gpm x 8.35 lbs/gal x 0.9 x 60 min = 1353 lbs/hr

**Paso 2:** Calcule los kW:

El calor específico del aceite combustible es de 0.42 Btu/lb/°F

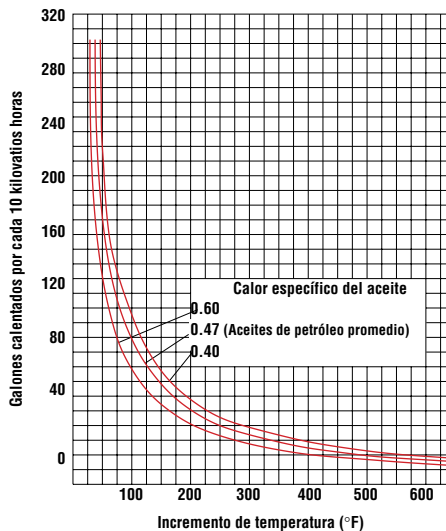
$$kW = \frac{1353 \text{ lbs} \times 0.42 \text{ Btu/lb/°F} \times (100 - 50^\circ\text{F})}{3412 \text{ Btu/kW}} \times 1.2 \text{ SF}$$

kW = 9.99

**Sugerencia:** Escoja la densidad de potencia para el aceite combustible y entonces seleccione el calentador. Utilice un calentador de circulación NWHOR-05-015P de 10 kW en stock, con un termostato AR-215.

#### Gráfica G-236. Calentamiento de aceite

##### Calor necesario para varios incrementos de temperatura (sin pérdidas)



**ADVERTENCIA.** Consulte las recomendaciones que se dan en otra parte de esta sección para densidad de potencia y temperaturas máximas del forro metálico de los elementos para calentamiento de aceite.

#### Calentamiento de metal blando en recipientes para fundición o crisoles

La mayoría de las aplicaciones de calentamiento de metales blandos implican el uso de recipientes para fundición o crisoles calentados externamente. El ejemplo siguiente representa una aplicación típica de metales blandos.

Una caldera para fundir acero que pesa 150 lbs contiene 400 lbs de plomo. La caldera se aísla con 2 pulgadas de lana de roca y tiene un forro metálico externo de acero con 20 pie<sup>2</sup> de área de superficie. La superficie que sobresale del plomo tiene 3 pie<sup>2</sup> expuestos al aire. Determine los kilovatios necesarios para elevar la temperatura del material y el contenedor de 21 °C (70 °F) a 426 °C (800 °F) en una hora, y después calentar 250 lbs de plomo por hora (de 21 °C (70 °F) hasta 426 °C (800 °F)).

Punto de fundición del plomo = 327 °C (621 °F)

Calor específico del plomo sólido = 0.0306 Btu/lb/°F

Calor específico del plomo fundido = 0.038 Btu/lb/°F

Calor de fusión/plomo = 10.8 Btu/lb

Calor específico del crisol de acero = 0.12 Btu/lb/°F

Pérdida por radiación de la superficie del plomo fundido = 1000 W/pie<sup>2</sup> (de la curva G-128S).

Pérdida de superficie del forro metálico externo de la caldera 62 W/pie<sup>2</sup> (de la curva G-126S).

SF = Factor de protección 20 %

##### Cálculo de los requisitos de calentamiento para el arranque:

$$Q_T = \left( \frac{Q_A + Q_F + Q_L + Q_C + Q_{LS}}{t} \right) (1 + SF)$$

Donde:

Q<sub>A</sub> = kW para calentar plomo hasta el punto de fundición.

[400 lbs x 0.0306 Btu/lb/°F (621 - 70°F)] ÷ 3412

Q<sub>F</sub> = kW para fundir plomo (400 lbs x 10.8 Btu/lb) ÷ 3412

Q<sub>L</sub> = kW para calentar plomo desde el punto de fundición hasta 426 °C (800 °F)

[400 lbs x 0.038 Btu/lb/°F (800 - 621°F)] ÷ 3412

Q<sub>C</sub> = kW para calentar la caldera de acero

[150 lbs x 0.12 Btu/lb/°F (800 - 70°F)] ÷ 3412

Q<sub>LS</sub> = Pérdida de superficie del plomo y del forro metálico externo

[(1000 W x 3 pie<sup>2</sup>) + (62 W x 20 pie<sup>2</sup>)] ÷ 1000

t = 1 hora

Q<sub>T</sub> = 9.98 kW x 1.2 = 11.99 kW

##### Cálculo de los requisitos de calentamiento para la operación:

$$Q_T = (Q_A + Q_F + Q_L + Q_{LS})(1 + SF)$$

Donde:

Q<sub>A</sub> = kW para calentar plomo añadido hasta el punto de fundición.

(250 lbs x 0.0306 Btu/lb/°F [621 - 70°F]) ÷ 3412

Q<sub>F</sub> = kW para fundir el plomo añadido

(250 lbs x 10.8 Btu/lb) ÷ 3412

Q<sub>L</sub> = kW para calentar plomo desde el punto de fundición hasta 800 °F

(250 lbs x 0.038 Btu/lb/°F [800 - 621°F]) ÷ 3412

Q<sub>LS</sub> = Pérdidas de superficie del plomo y el forro metálico externo

(1000W x 3 pie<sup>2</sup>) + (62W x 20 pie<sup>2</sup>) ÷ 1000

Q<sub>T</sub> = 6.69 kW x 1.2 = 8.03 kW

Dado que los requisitos de arranque exceden los requisitos necesarios para la operación, deberán instalarse una potencia de 12 kW.