

Información técnica

Determinación de los requisitos de energía para el calentamiento de aire y gas

Calentamiento de aire y gas

Las aplicaciones de calentamiento de aire y gas funcionan bajo dos condiciones: el aire o gas se encuentra a presión atmosférica normal, o el aire o gas se encuentra bajo una presión que va desde baja hasta alta. Entre las aplicaciones a la presión atmosférica se incluyen: aire de proceso, recirculación y calentamiento en horno usando ductos o calentadores de aire insertados a alta temperatura. Entre las aplicaciones presurizadas se incluyen: el calentamiento de ductos presurizados y otros procesos que usan altas presiones y calentadores de circulación. Los procedimientos para determinar los requisitos de energía calorífica para cada condición son similares, excepto la densidad del gas comprimido y la velocidad de masa del flujo que deben ser consideradas en aplicaciones presurizadas. La selección de los equipos en ambas condiciones es crítica debido a las temperaturas del forro metálico potencialmente altas que pueden ocurrir.

Determinación de los requisitos de calor para calentamiento de gas a presión atmosférica

Las fórmulas siguientes pueden usarse para determinar la potencia necesaria para calentar el aire o gas:

Ecuación A:

$$kW = \frac{CFM \times \text{lbs/pie}^3 \times 60 \text{ min} \times C_p \times \Delta T}{3412 \text{ Btu/kW}} \times SF$$

Donde:

CFM = Volumen en pie cúbico por minuto

Lbs/pie³ = Densidad del aire o gas a la temperatura inicial

C_p = Calor específico del aire o gas a la temperatura inicial

ΔT = Incremento de temperatura en °F

SF = Factor de protección sugerido

Para el cálculo rápido de los requisitos de calentamiento del aire para temperaturas de entrada de hasta 49 °C (120 °F), se puede usar la siguiente fórmula:

$$kW = \frac{SCFM \times \Delta T}{3,000} \times 1.2 \text{ SF}$$

Donde:

SCFM = Volumen del aire en pie cúbico por minuto en condiciones estándares¹

3,000 = Factor de conversión para unidades, tiempo y Btu/lb/°F

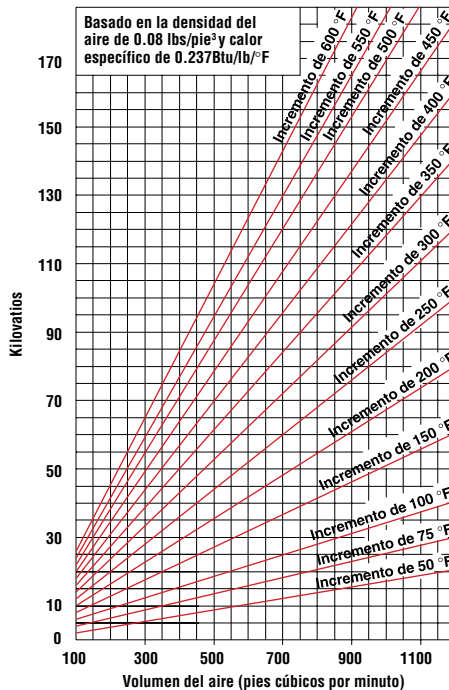
1.2 SF = Factor de protección sugerido del 20 %

Gráfica G-176S: Cuando el flujo de aire (pie³/min) y la temperatura se elevan como se muestra, la potencia necesaria puede leerse directamente de la gráfica G-176S.

Nota: Los factores de seguridad no están incluidos.

Nota 1. Tomados como base una densidad media de 0.08 lbs/pie³ y un calor específico de 0.24 Btu/lb/°F. Para mayor seguridad, use la ecuación A y los valores del esquema Propiedades del Aire en esta sección.

Gráfica G-176S. Calentamiento de aire



Ejemplo de cálculo para un proceso de calentamiento de aire:

Un proceso de secado necesita calentar 450 ACFM de aire¹ desde 21 °C (70 °F) a 66 °C (150 °F). El ducto de trabajo existente mide 2 pies de anchura por 1 pie de alto, y está aislado (es decir, las pérdidas son despreciables). Para encontrar la capacidad de calor necesaria, use la ecuación A:

$$kW = \frac{450 \text{ ACFM} \times 0.08 \times 60 \times 0.24 \times 80}{3412 \text{ Btu/kW}} \times 1.2 \text{ SF}$$

$$kW = 14.58$$

Selección del calentador

Los calentadores Finstrip® (calentadores CAB), Fintube® (calentadores DH) o elementos tubulares (calentadores TDH, ADH y ADHT) trabajarán todos satisfactoriamente en aplicaciones de bajas temperaturas. Los calentadores Finstrip®, o elementos tubulares aletados, son por lo regular los más económicos. Los elementos tubulares se recomiendan usar para altas temperaturas. Una vez que se selecciona el tipo de elemento calefactor deseado, el próximo paso será calcular la velocidad del aire y las temperaturas del forro metálico para verificar que las temperaturas de funcionamiento máximas no son excedidas. Se debe calcular la velocidad del aire sobre los elementos y remitirse a las gráficas de densidad de potencia permisible para obtener la temperatura de operación estimada.

Cálculo de la velocidad del aire. La velocidad del aire puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad (fps)} = \frac{\text{Flujo (ACFM)}}{\text{Área del calentador (pie}^2\text{)} \times 60 \text{ s}}$$

Selección del calentador de baja temperatura. La selección de un calentador típico podría corresponder a un calentador tipo CAB con elementos Finstrip. Se ofertan calentadores en stock de 15 kW incluido un CAB-1511 con elementos de acero cromo o un CAB-152 con elementos del forro metálico de hierro, ambos clasificados para 26 W/plg². De la página del producto, el área frontal de un calentador CAB de 15 kW es de 1.19 pie²:

$$\text{Velocidad (fps)} = \frac{450 \text{ ACFM}}{1.19 \text{ pie}^2 \times 60 \text{ seg.}} = 6.3 \text{ fps}$$

Estimado de la temperatura de funcionamiento del forro metálico:

Las temperaturas de funcionamiento máximas del forro metálico para Finstrips son 399 °C (750 °F) para el hierro y 510 °C (950 °F) para el acero cromo. Usando la gráfica G-107S para el forro metálico de hierro Finstrips, una temperatura de salida de 66 °C (150 °F) y una densidad de potencia de 26 W/plg² necesita una velocidad mayor de 9 pies/s para mantener las temperaturas del forro metálico por debajo de los niveles máximo permisibles. Con solo 6.3 fps en la aplicación, un calentador CAB-152 con elementos de forro metálico de hierro no es adecuado. Usando la gráfica G-108S para Finstrips de forro metálico de cromo, una velocidad del aire de aproximadamente 3 pie/s resulta en una temperatura máxima del forro metálico de 482 °C (900 °F). Dado que esta velocidad es menor que la velocidad real de 6.3 fps, un CAB-1511 con Finstrips de acero cromo es una selección de calentador aceptable. (Use las gráficas G-100S, G-105S, G-106S y G-132S para el calentamiento de aire con calentadores de banda ordinarios y Finstrip).

Selección de calentador de alta temperatura: Los calentadores tipos TDH y ADHT con elementos tubulares se recomiendan utilizar en aplicaciones donde existen elevadas temperaturas. Los forros metálicos de acero tubulares deben usarse donde la temperatura del forro metálico no exceda los 399 °C (750 °F). Los elementos tubulares de aletas pueden ser usados en aplicaciones donde el forro metálico alcance una temperatura máxima de hasta 565 °C (1050 °F). Los forros metálicos tubulares INCOLOY® deben usarse en aplicaciones donde el forro metálico alcance una temperatura máxima de hasta 870 (1600 °F). Las densidades de potencia permisibles para elementos tubulares y tubulares con aletas pueden ser determinadas utilizando como referencia los gráficos G-136S y G-151-1 a G-156-1.

Estimado de la temperatura de funcionamiento del forro metálico:

Selección de un calentador para una aplicación de alta temperatura con el aire de entrada a una temperatura de 523 °C (975 °F) y con una velocidad de 4 pie/s. Dado que la temperatura que se requiere es mayor de 399 °C (750 °F), debe usarse un forro metálico INCOLOY®. Usando la gráfica G-152-1, la densidad de potencia permisible es de 11 W/plg² para temperaturas del forro metálico de 648 °C (1200 °F) o 22 W/plg² para temperaturas de 759 (1400 °F). En esta aplicación, puede usarse un calentador² ADHT en stock con una densidad de potencia estándar de 20 W/plg².

Nota 2. Se pueden suministrar calentadores de ducto ADHT especiales, la la densidad de potencia necesaria reducida, cuando se necesiten elementos con valores menores que el estándar de 20 W/plg².

Información técnica

Densidad de potencia permisible y selección de calentador - Calentamiento de aire

Calentamiento de aire y gas con calentadores de banda y Finstrip®

Diseños especiales: Los calentadores de banda y Finstrip® son montados frecuentemente por el usuario final en forma de bancos. Los gráficos G-105S y G-106S que se presentan en esta página pueden usarse conjuntamente con otros gráficos para determinar la densidad de potencia máxima para prácticamente cualquier diseño especial de aplicación de calentamiento de baja temperatura.

Gráfico G-105S. Calentadores de banda

Para usar este gráfico:

- Seleccione** la temperatura máxima del aire deseada a la salida en la línea A.
- Escoja** un forro metálico de acero cromado o un forro metálico de hierro resistente a la corrosión (puntos B), basándose en las condiciones de funcionamiento.
- Seleccione** la velocidad del aire mínima que se espera en B. **Nota:** La circulación natural es igual aproximadamente a un pie por segundo.
- Dibuje** una línea recta a través de los puntos A y B para una lectura en C. Lea la potencia máxima permisible por pulgada cuadrada de la línea C.
- Seleccione** el calentador con la longitud deseada con una densidad de potencia equivalente o menor a la que se da en la página del producto en este catálogo.

Gráfico G-106S. Calentadores Finstrip®

Para usar este gráfico:

- Seleccione** la temperatura máxima del aire deseada a la salida en la línea D.
- Escoja** un forro metálico de acero cromado o un forro metálico de hierro resistente a la corrosión (puntos E) basándose en las condiciones de funcionamiento.
- Seleccione** la velocidad del aire mínima que se espera en B. **Nota:** La circulación natural es igual aproximadamente a un pie por segundo.
- Dibuje** una línea recta a través de los puntos D y E para una lectura en F. Lea la potencia máxima permisible por pulgada cuadrada de la línea F.
- Seleccione** el calentador con la longitud deseada con una densidad de potencia equivalente o menor a la que se da en la página del producto en este catálogo.

Recomendaciones para instalaciones especiales:

Los calentadores de banda siempre deben ser montados lateralmente en el conducto de trabajo, con los extremos estrechos encarando la corriente de aire. La cantidad total de elementos instalados debe ser divisible por 3 para que la carga del calentador sea balanceada en un circuito trifásico.

Gráfico G-105S. Calentamiento de aire con calentador de banda. Selección de la densidad de potencia

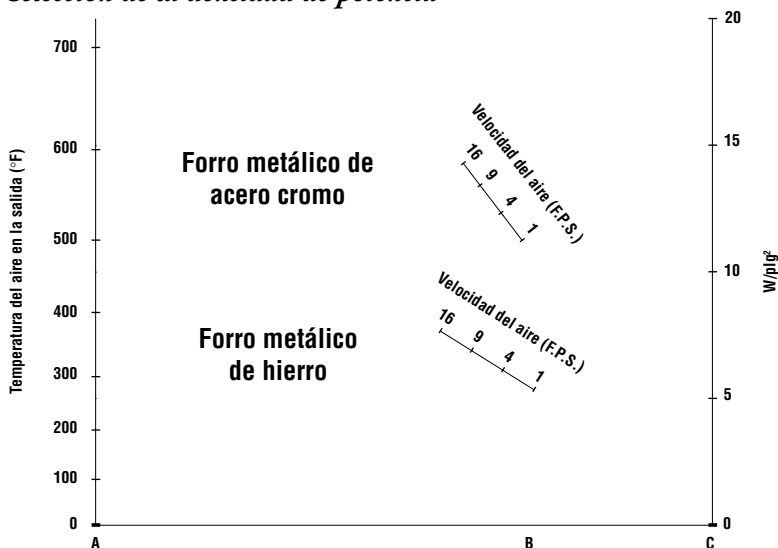
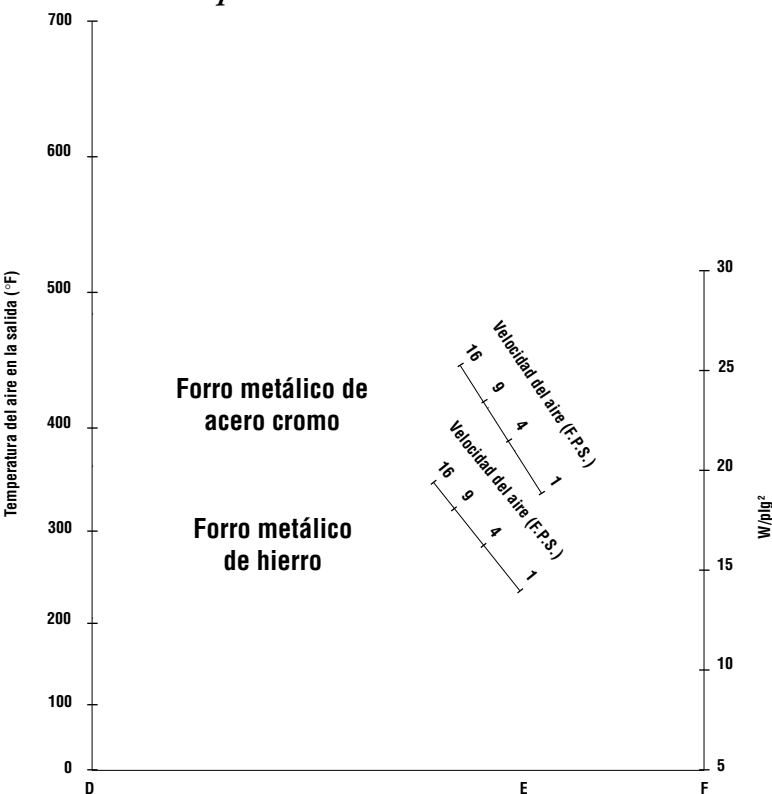


Gráfico G-106S. Calentamiento de aire con calentador Finstrip®. Selección de la densidad de potencia



Información técnica

Densidad de potencia permisible y selección de calentador - Calentamiento de aire

Gráfico G-132S. Calentamiento de aire con calentador de banda (hierro). Densidades de potencia permisibles para temperatura del forro metálico de 370 °C (700 °F)

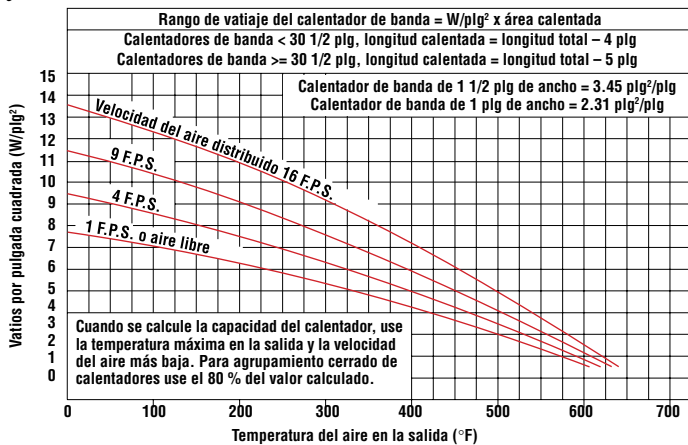


Gráfico G-100S. Calentamiento de aire con calentador de banda (cromo). Densidades de potencia permisibles para temperatura del forro metálico de 537 °C (1000 °F).

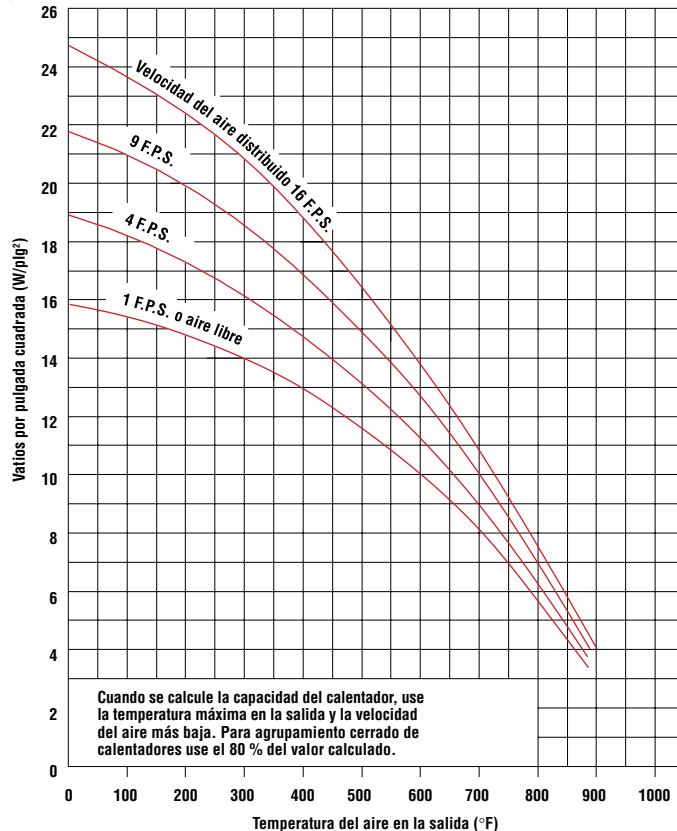


Gráfico G-107S. Calentamiento de aire con Finstrip® (forro metálico de hierro). Densidades de potencia permisibles para temperatura del forro metálico de 370 °C (700 °F).

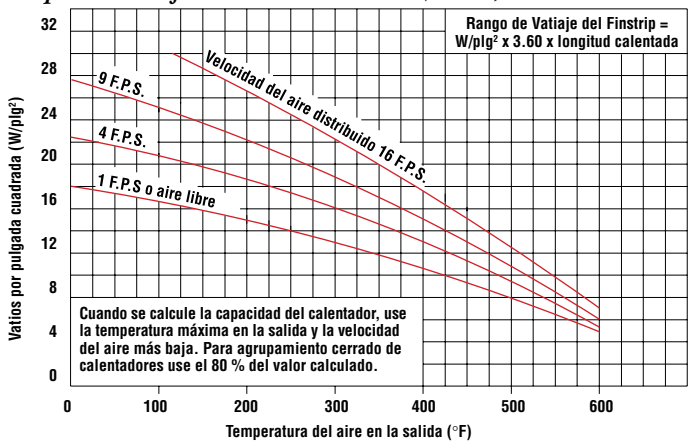
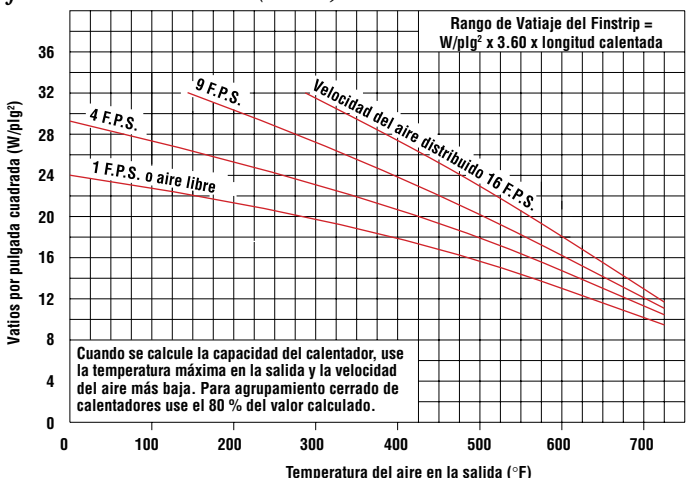


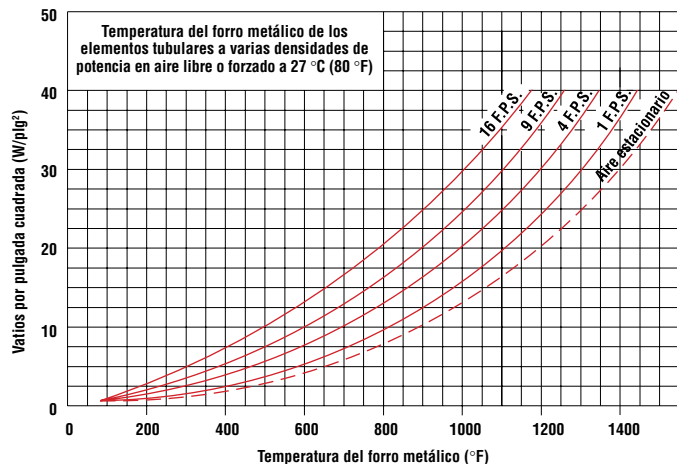
Gráfico G-108S. Calentamiento de aire con Finstrip® (acero cromo). Densidades de potencia permisibles para temperatura del forro metálico de 482 °C (900 °F).



Notas:

- Calentadores de banda < 30 1/2 plg, longitud calentada = longitud total - 4 plg
- Calentadores de banda \geq 30 1/2 plg, longitud calentada = longitud total - 5 plg
- Calentador de banda de 1 1/2 plg de ancho = 3.45 plg/plg
- Calentador de banda de 1 plg de ancho = 2.31 plg/plg

Gráfico G-136S. Calentamiento de aire. Calentador tubular.



Información técnica

Densidad de potencia permisible y selección de calentador - Calentamiento de aire

Gráfico G-151-1. Calentadores tubular y Fintube®
Temperaturas del forro metálico con 1 FPS de velocidad
del aire distribuido

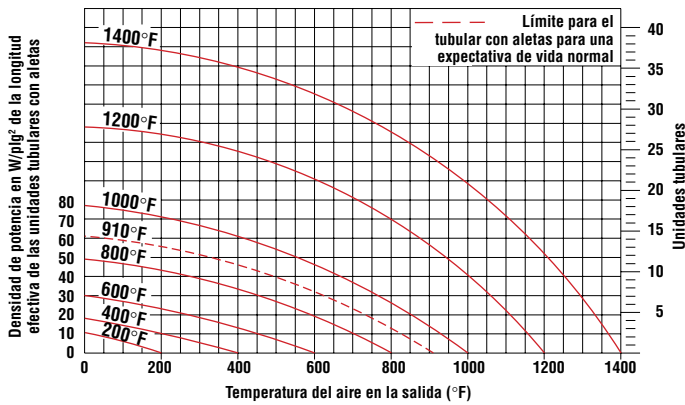


Gráfico G-154-1. Calentadores tubular y Fintube®
Temperaturas del forro metálico con 16 FPS de velocidad
del aire distribuido

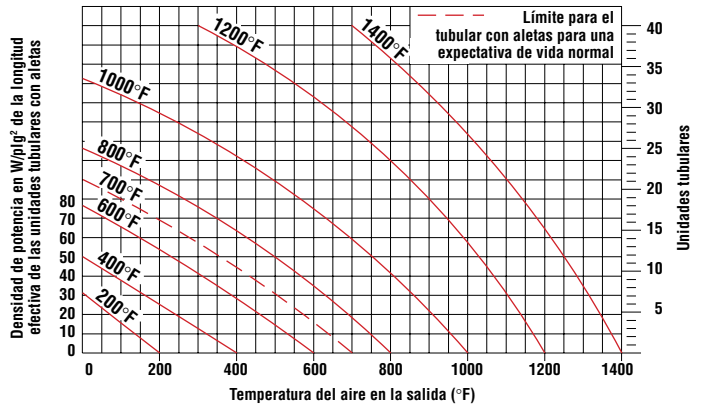


Gráfico G-152-1. Calentadores tubular y Fintube®
Temperaturas del forro metálico con 4 FPS de velocidad
del aire distribuido

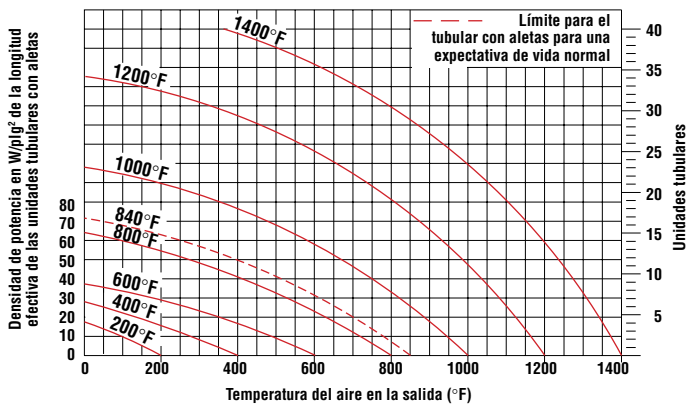


Gráfico G-155-1. Calentadores tubular y Fintube®
Temperaturas del forro metálico con 25 FPS de velocidad
del aire distribuido

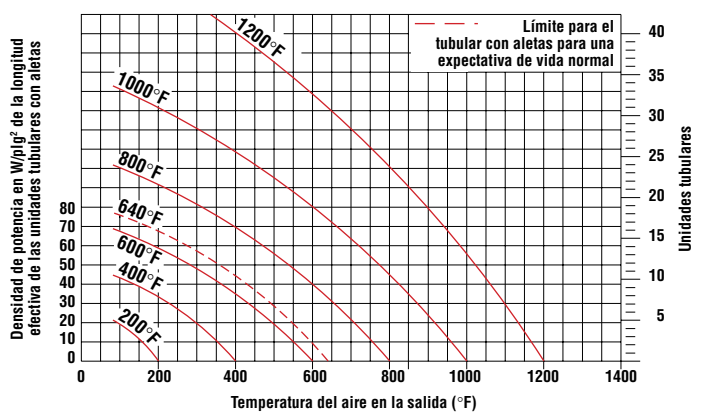


Gráfico G-153-1. Calentadores tubular y Fintube®
Temperaturas del forro metálico con 9 FPS de velocidad
del aire distribuido

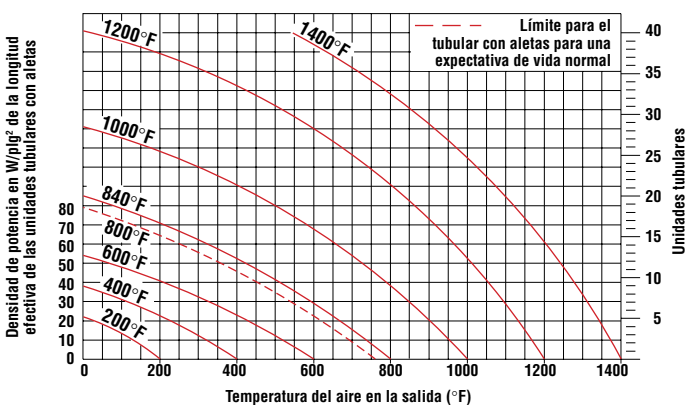
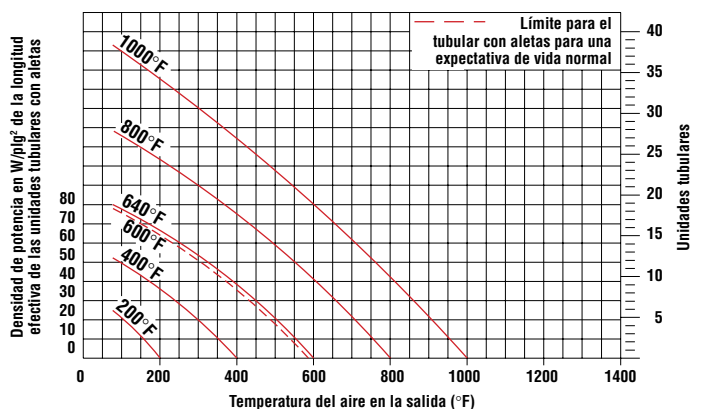


Gráfico G-156-1. Calentadores tubular y Fintube®
Temperaturas del forro metálico con 36 FPS de velocidad
del aire distribuido



Información técnica

Determinación de los requisitos de energía - Calentamiento de aire y gas

Calentamiento de aire y gas. Criogénicos.

Los gases industriales se almacenan usualmente en estado líquido, añadiéndole calor para vaporizar y extraer el gas según las necesidades de uso. Las ecuaciones generales de calor se aplican sólo en tuberías, conductos y recipientes, que contienen el fluido criogénico o gas que frecuentemente representa una fuente de calor en lugar de pérdida de calor. Si las dimensiones y materiales de los tanques o recipientes son conocidas, entonces los cálculos de calor para los incrementos de temperatura pueden realizarse como en el calentamiento de recipientes estándares o de calderas. El siguiente ejemplo es típico de una aplicación de calentamiento criogénico.

Problema: Precalear y evaporar 30,000 SCFH de nitrógeno líquido (N₂) desde -173 °C (-345 °F) hasta 21 °C (70 °F), en condiciones atmosféricas. Las propiedades del N₂ de las Tablas de gas criogénico son: Punto de ebullición: -160 °C (-320 °F) Calor específico Btu/lb/°F = 0.474 (líq.), 0.248 (gas) Calor latente de vaporización = 85.7 Btu/lb Densidad atmosférica del N₂ a 0 ° (32 °F) = 0.0784 lb/pie³

Solución. Cantidad de N₂ líquido a ser vaporizado 30,000 SCFH x 0.0784 lb/pie³ = 2,352 lbs/h

- Eleve** la temperatura del líquido desde -173 °C a -160 °C (-345 °F a -320 °F) (punto de ebullición) $\Delta T = 25$ °F.

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

Donde:
Wt = Peso del material en lbs
C_p = Calor específico del N₂ líquido
 ΔT = Incremento de temperatura en °F
SF = Factor de seguridad sugerido del 20 %

$$kW = \frac{2,352 \text{ lbs} \times 0.474 \times 25}{3412 \text{ Btu/kW}} \times 1.2 = 9.8 \text{ kW}$$

- Vaporice** el N₂ líquido

$$kW = \frac{2,352 \text{ lbs} \times 85.7}{3412 \text{ Btu/kW}} \times 1.2 = 70.9 \text{ kW}$$

- Eleve** la temperatura del N₂ desde el punto de ebullición -160 °C (-320 °F) hasta 21 °C (70 °F). $\Delta T = 390$ °F.

$$kW = \frac{2,352 \text{ lbs} \times 0.248 \times 390}{3412 \text{ Btu/kW}} \times 1.2 = 80 \text{ kW}$$

Total kW/h necesarios = 9.8 + 70.9 + 80 = 169.7

Recomendaciones para los equipos: Generalmente, las aplicaciones criogénicas utilizan un precalentador de gas y una unidad vaporizadora. Los calentadores de alta densidad de potencia sumergidos en fluido criogénico pueden usarse para el vaporizador. Se recomiendan utilizar calentadores de circulación y densidades de potencia estándares para el precalentamiento de gas. Proteja los terminales del calentador de la escarcha y la humedad con sellos y cubiertas impermeables para terminales.

Recomendaciones para el material: El acero al carbón corriente está sujeto a fracturas quebradizas a temperaturas por debajo de -7 °C (-20 °F) y generalmente no se recomienda utilizar. Deben usarse acero inoxidable, aleaciones de aluminio o aleaciones de alto contenido de níquel. Use Teflon® para las empaquetaduras ya que el Teflon® se mantiene flexible a bajas temperaturas.

Calentamiento de aire y gas - Hornos por lotes.

La mayoría de las aplicaciones de hornos consisten en el calentamiento del producto de trabajo dentro de una caja aislada. Los cálculos de la pérdida de calor involucran la determinación de los requisitos de calor para calentar la caja y el producto de trabajo usando aire calentado y circulado mediante convección natural o forzada. Cualquier estructura o aire de ventilación deben considerarse también. El siguiente ejemplo describe el cálculo del calor necesario para una aplicación típica de calentamiento de horno.

Problema: Un horno con dimensiones internas de 2 pies de alto x 3 pies de ancho x 4 pies de profundidad es mantenido a 176 °C (350 °F). El horno tiene paredes de acero laminado con un aislante de 2 pulgadas, y está ventilado con 400 cfm (pie³/h) de aire a 21 °C (70 °F) el cual descarga el humo hacia el exterior. El horno se carga con 250 lbs de piezas recubiertas de acero en una bandeja de acero que pesa 40 lbs. El proceso necesita que las piezas sean calentadas de 21 °C (70 °F) hasta 176 °C (350 °F) en 3/4 de hora.

Peso del acero = 290 lbs
Calor específico del acero = 0.12 Btu/lb/°F
Peso del aire = 0.080 lbs/pie³ a 21 °C (70 °F)
Calor específico del aire = 0.24 Btu/lb/°F
Incremento de temperatura = 139 °C (280 °F)
Pérdidas de superficie con 2 pulgadas de aislante = 18 W/pie²/h a una diferencia de temperatura de 139 °C (280 °F) (Gráfica G-126S)
Área de superficie del horno = 52 pies²
Tiempo = 3/4 h (0.75)
Razón del flujo de aire = 400 pies³/h

Solución

- Calcular** los kWh necesarios para calentar el metal.

$$kW = \frac{290 \text{ lbs} \times 0.12 \text{ Btu/lb/°F} \times 280 \text{ °F}}{3412 \text{ Btu/kW}} = 2.86 \text{ kW}$$

- Calcular** los kWh necesarios para calentar el aire ventilado.

$$kW = \frac{cfm \times \text{lbs/ft}^3 \times C_p \times \Delta T \times t}{3412 \text{ Btu/kW}} = 0.47 \text{ kW}$$

Donde:
cfm = Razón de flujo de aire (400)
lbs/ft³ = Densidad del aire (0.080)
C_p = Calor específico del aire (0.24)
 ΔT = Incremento de la temperatura (280)
t = Tiempo en horas (0.75)

- Calcular** las pérdidas de superficie. Dado que el horno ya tiene la temperatura, las pérdidas están en su valor máximo.

$$kW = \frac{18 \text{ W/pie}^2/\text{hr} \times 52 \text{ ft}^2 \text{ area} \times 0.75 \text{ hr}}{1,000 \text{ W/kW}} = 0.70 \text{ kW}$$

- Total kW** = 2.86 + 0.47 + 0.70 = 4.03 kW

- Para aplicaciones de hornos**, adicione 30 % para cubrir las pérdidas de la puerta y otras contingencias. kWh necesarios (incluyendo el factor de seguridad) son

$$kWh = \frac{kW}{t} = \frac{4.03 \text{ kW}}{0.75 \text{ hrs}} = 5.37 \text{ kW} \times 1.3 = 6.98 \text{ kW}$$

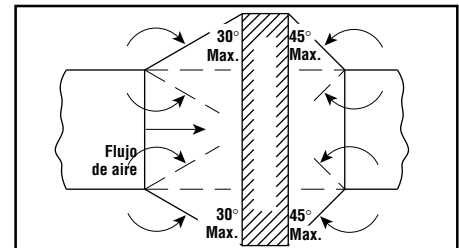
Recomendaciones para los equipos: Varios calentadores de aire de proceso, incluyendo calentadores de banda, finstrips, tubulares desnudos o calentadores de horno tipo OV, son adecuados para utilizar en aplicaciones de calentamiento de horno.

Caída de presión para calentadores de aire de proceso

La caída de presión a través de los calentadores de aire de proceso TDH y ADH con elementos tubular desnudos o tubular con aletas, calentadores CAB con elementos finstrip y calentadores de aire ADH y DH con elementos tubulares con aletas, variará considerablemente dependiendo de la construcción y diseño del producto. La ingeniería de ventas Chromalox puede ofertar cálculos de caída de presión para prácticamente cualquier aplicación con calentador de conducto (o calentador de circulación). Los gráficos G-112S3, G-189S1, G-227-2 y G-227ADH que se muestran en la página siguiente sirven como guía para el cálculo de la caída de presión para muchos calentadores de aire de proceso Chromalox. La gráfica G-189S1 puede usarse para la mayoría de las aplicaciones de calentadores tubulares con aletas, ya que proporciona los elementos que están montados en configuración de tres o seis filas.

Transiciones en conductos. En algunos sistemas de distribución de aire, el calentador de conducto puede ser considerablemente mayor o menor que el conducto de trabajo asociado. El calentador de conducto puede ser adaptado a un conducto de trabajo de dimensión diferente mediante la instalación de una lámina de transición de metal. La transición debe diseñarse para que la pendiente en el lado de contra corriente del equipo se limite a 30° (vea debajo). En el lado de salida la pendiente no debe ser mayor de 45°.

Dimensiones recomendadas para transiciones de ducto

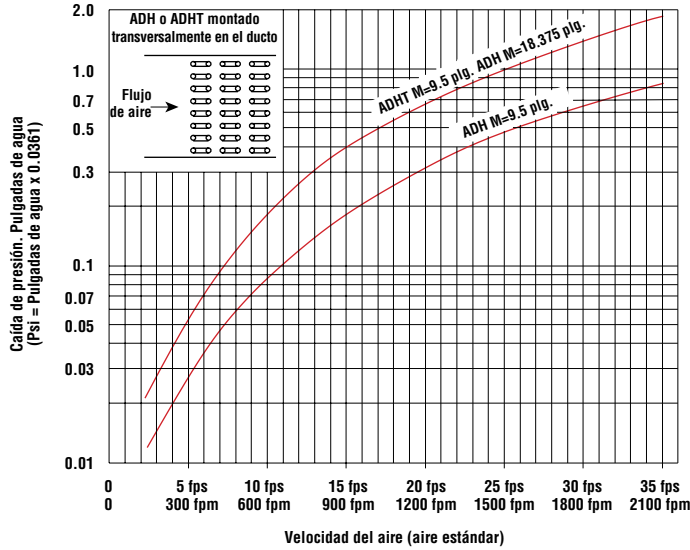


Nota 1: Contacte a la fábrica para obtener cálculos de caída de presión para calentadores de ducto montados longitudinalmente o en serie y para calentadores de circulación de gas GCH. Estas aplicaciones necesitan cálculos especiales para la aplicación adecuada y el dimensionamiento del manipulador de aire.

Información técnica

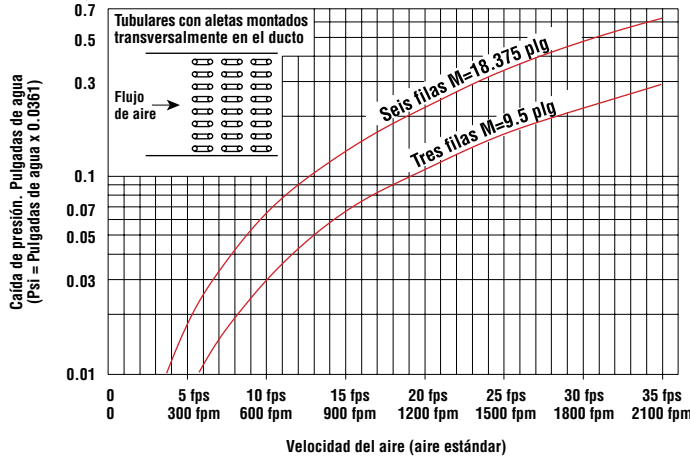
Determinación de la caída de presión - Calentamiento de aire y gas

Gráfico G-227ADH. Caída de presión Vs. Velocidad - Calentadores de aire de elementos tubulares ADH y ADHT



Nota: Contacte a la fábrica para obtener cálculos de caída de presión para calentadores de aire ADH/ADHT montados longitudinalmente en el ducto y calentadores ADHT donde M es mayor que 9.5 plg

Gráfico G-189S1. Caída de presión Vs. Velocidad - Calentadores de aire y elementos Fintube®



Nota: Contacte a la fábrica para obtener cálculos de caída de presión para calentadores de aire de elementos tubulares con aletas montados longitudinalmente en el ducto.

Gráfico ADHTB. Guía de selección de instalación eléctrica en campo para temperaturas de la caja terminal en calentadores ADH /ADHT

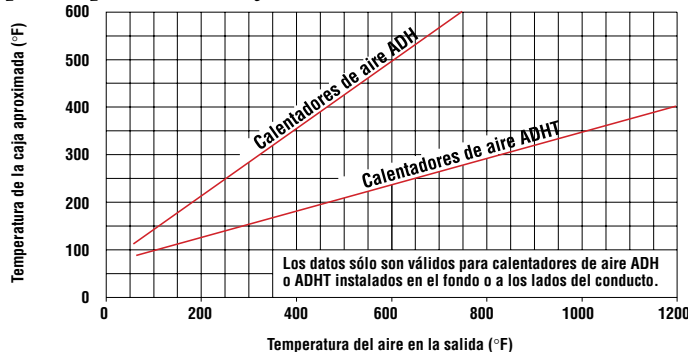


Gráfico G-112S3. Caída de presión Vs. Velocidad - Calentadores de aire Finstrip® y CAB

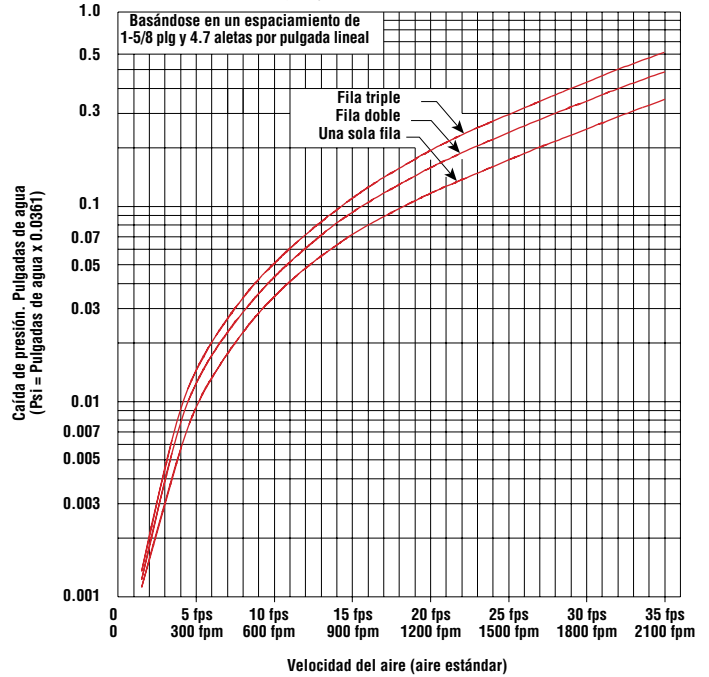
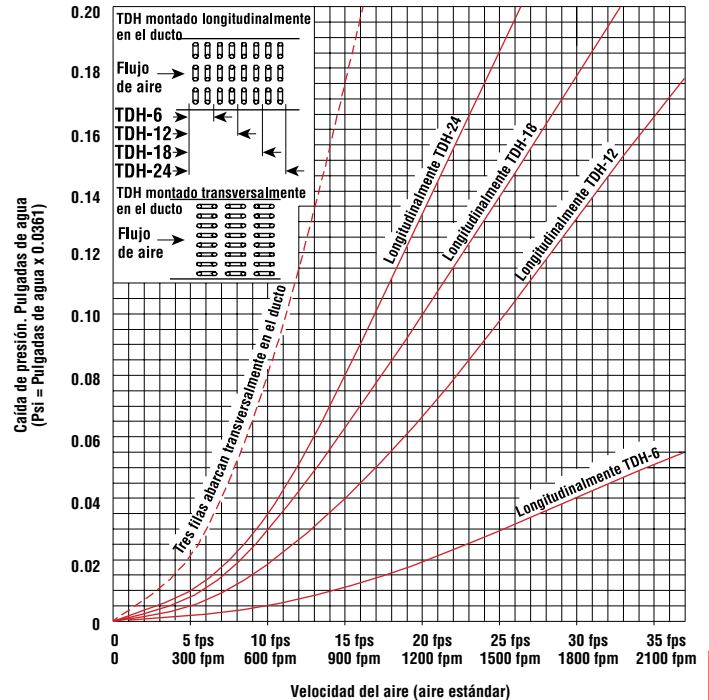


Gráfico G-227-2. Caída de presión Vs. Velocidad - Calentadores de aire de elementos tubulares TDH



Información técnica

Determinación de los requisitos de energía - Calentamiento de aire y gas

Calentamiento de aire y gas con calentadores de circulación

Para calcular los requisitos de energía calorífica para el calentamiento de aire comprimido o gases, el primer paso es determinar la razón de flujo en libras por hora. Si la densidad del aire o gas bajo la presión real es conocida, los kW necesarios pueden calcularse directamente. El siguiente ejemplo ilustra este procedimiento:

Ejemplo: Calentar 20 ACFM de aire a 30 psig desde 16 °C (60 °F) hasta 210 °F. Del esquema de las propiedades del aire se extrae que la densidad del aire a 16 °C (60 °F) y 30 psig es de 0.232 lb/pie³, con un calor específico de 0.24 Btu/lb/°F. Los kW necesarios pueden calcularse por la fórmula:

$$kW = \frac{ACFM \times \text{lbs}/\text{pie}^3 \times 60 \text{ min} \times C_p \times \Delta T}{3412 \text{ Btu}/\text{kW}} \times SF$$

Donde:

ACFM = Flujo actual en pie³/min a la temperatura en la entrada y presión manométrica (psig)

lbs/pie³ = Densidad real a la temperatura en la entrada y presión manométrica (psig)

C_p = Calor específico del aire o gas a la temperatura en la entrada y presión manométrica (psig)

ΔT = Incremento de temperatura en °F

SF = Factor de seguridad sugerido

$$kW = \frac{20 \times 0.232 \times 60 \times 0.24 \times (210 - 60^\circ F)}{3412} \times 1.2$$

$$kW = \frac{278.4 \text{ lbs}/\text{hr} \times 24 \times 150}{3412} \times 1.2 = 3.52 \text{ kW}$$

$$kW = \frac{278.4 \text{ lbs}/\text{hr} \times 24 \times 150}{3412} \times 1.2 = 3.52 \text{ kW}$$

Cuando la densidad y el calor específico de un gas a una temperatura específica y presión son desconocidos, la razón de flujo real puede convertirse a una temperatura y presión conocidas utilizando las leyes físicas de los gases.

Ejemplo: Calentar 45 ACFM de nitrógeno (N₂) a 35 psig desde 10 °C (50 °F) hasta 149 °C (300 °F). Del mapa de las propiedades físicas y termodinámicas de los gases comunes, la densidad del nitrógeno a 21 °C (70 °F) es 0.073 lbs/pie³, con un calor específico de 0.2438 Btu/lb/°F. Convertir 45 ACFM a 35 psig y 10 °C (50 °F) para SCFM de nitrógeno a 21 °C (70 °F) usando la siguiente fórmula:

$$SCFM = ACFM \times \frac{\text{Real psia}}{14.7 \text{ psia}} \times \frac{\text{Estándar T}}{\text{Real T}}$$

$$SCFM = \text{Estándar pie}^3/\text{min a } 14.7 \text{ psia y } 21^\circ \text{C (70 }^\circ \text{F)}$$

ACFM = Flujo real en pie³/min a la temperatura en la entrada y presión manométrica (psig)

Real psia = Presión manométrica en lb/plg² + 14.7 psia

14.7 psia = Presión absoluta en lb/plg²

T = ° Rankine (°F + 460)

$$SCFM = 45 \times \frac{(35 + 14.7)}{14.7 \text{ psia}} \times \frac{(70 + 460)}{(50 + 460)}$$

$$SCFM = 158.1 \text{ pie}^3/\text{min}$$

Usando el SCFM calculado en lugar de ACFM en la ecuación A, los kW necesarios son:

$$kW = \frac{158.1 \times 0.073 \times 60 \times 0.2438 \times (300 - 50)}{3412} \times 1.2$$

$$kW = 14.8 \text{ kW}$$

Determinación de las temperaturas máximas del forro metálico y la cámara

Cuando caliente aire o gases en cámaras de tuberías aisladas o calentadores de circulación, la temperatura de la pared de la tubería normalmente excederá la temperatura del gas en la salida. Las temperaturas de pared y/o forro metálico de los elementos calefactores excesivamente altas pueden crear una condición peligrosa o insegura. Las temperaturas máximas del forro metálico y la cámara pueden ser estimadas usando la velocidad de masa del gas y el gráfico G-237. En el ejemplo de calentamiento de aire de arriba, asuma que ha sido seleccionado un calentador de 4.5 kW de la Serie 3 clasificado para 23 W/plg². Del cuadro 236, el área libre de la sección transversal de un calentador de la Serie 3 (3 plg) es de 0.044 pie². Calcule la velocidad de masa de la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de masa} = \frac{\text{Flujo lbs}/\text{hr}}{\text{área libre pie}^2} \div 3,600 \frac{\text{s}}{\text{hr}}$$

$$\text{Velocidad de masa} = \left(\frac{278 \text{ lbs}/\text{hr}}{0.044 \text{ pie}^2} \right) \div 3,600 \frac{\text{s}}{\text{hr}}$$

Cuadro 236. Área seccional transversal interna para calentadores de circulación.

Cuerpo de tubería nominal IPS (estándar)	Área total (pie ²)	Área libre (pie ²)	Cantidad de elementos de 0.475 plg
2	0.023	0.018	2
3	0.051	0.044	3
5	0.139	0.124	6
8	0.355	0.303	18
10	0.566	0.481	27
12	0.785	0.696	36
14	0.957	0.847	45
16	1.268	1.091	72
18	1.622	1.357	108

Velocidad de masa = 1.75 lbs/pie²/s

En el gráfico G-237, localice la velocidad de masa (1.75) en el eje horizontal. Desde ese punto localice una curva de 23 W/plg². Lea a través del eje vertical (el incremento de temperatura en el forro metálico sobrepasa la temperatura a la salida) a 880 °F. Añadiendo a 880 °F + 210 °F (Temperatura en la salida) = 1090 °F de temperatura en el forro metálico. Promediando las temperaturas en la salida y en el forro metálico (1090 °F + 210 °F ÷ 2) produce una temperatura máxima en la cámara de 650 °F.

Dado que la temperatura máxima en la pared de la cámara es menor de 750 °F, se puede usar un calentador GCH en stock con un recipiente de acero al carbón y elementos INCOLOY® clasificados para 23 W/plg².

Gráfico G-237. Temperatura del forro metálico Vs. Velocidad de masa

