

Información técnica

Determinación de los requisitos de energía calorífica - Calentamiento por vapor

Calentamiento a vapor con intercambiadores de calor: Los intercambiadores de calor en corazas y tubos se usan frecuentemente para calentar líquidos, donde el vapor se aprovecha de las calderas centrales o del calor residual de los procesos. Las calderas eléctricas de vapor pueden usarse como fuente de vapor suplementaria o alternativa.

Ejemplo: Una compañía química utiliza un intercambiador de calor en coraza o tubo para calentar 10 gpm de agua desde 60 °C (140 °F) hasta 85 °C (185 °F) para un proceso continuo. El intercambiador se alimenta con vapor de 50 psig, desde una gran caldera central. La compañía desea apagar esta caldera de gran capacidad en los meses de verano. ¿Qué tamaño de caldera se necesita para reemplazar el suministro de vapor central durante el apagado? El condensado es retornado a la caldera mezclado con agua alimentada a 10 °C (50 °F).

La energía calorífica necesaria puede ser calculada de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{(500 \text{ lb/hr}) (C_p) (SG) (F) (\Delta T) (C)}{H} \times 1.2 \text{ SF}$$

Donde:

Q = Calor necesario en kW/h

500 = Factor de conversión de gpm a lbs/h
(1 gpm x 8.345 lbs/gal x 60 min = 500 lbs/h)

C_p = Calor específico (Btu/lb/°F) 1 para el agua

SG = Peso específico del líquido 1 para el agua

F = Flujo del líquido gal/min.

ΔT = Fluctuación de la temperatura del líquido °F
(180 °F - 140 °F = 45 °F)

C = Factor de conversión kW/lb de vapor a 50 psig
(kW/lb de la tabla de conversión)

H = Calor latente de vapor a la presión de funcionamiento Btu/lb (de la tabla de vapor saturado)

SF = Factor de seguridad del 20 %

$$Q = \frac{(500 \text{ lb/hr}) (1) (1) (10) (45^\circ\text{F}) (0.3401 \text{ kW/lb})}{(912 \text{ Btu/lb})}$$

$$Q = 83.9 \text{ kW/hr} \times 1.2 \text{ SF} = 100.7 \text{ kW/hr}$$

Se recomienda un factor de seguridad del 20 % para tolerar las pérdidas de calor desconocidas y la posible pérdida de agua caliente condensada debido a intermitencia.

Aplicaciones generales de la humidificación de vapor:

La inyección de vapor dentro de una corriente de aire húmedo para incrementar la humedad es una aplicación común de climatización. Los cálculos de los requisitos de humidificación de vapor pueden

separarse en aplicaciones de temperatura del aire constante y variable. El equipamiento se construye, usualmente, basándose en la salida de la caldera en lbs/h a 0-5 psig con agua alimentada a 10 °C (50 °F).

Temperaturas del aire variable: Las libras de vapor por hora necesarias para aplicaciones de temperatura variable pueden ser calculadas de la fórmula:

$$FH = \frac{(\Delta V)(FM \times 60 \text{ min})}{100 \text{ CFM}}$$

Donde:

FH = Flujo de vapor en lbs/hr

ΔV = Incremento en el contenido de humedad lbs/pie³ sobre la base del contenido de vapor de agua del aire en condición inicial y condición final

FM = Flujo de Aire en CFM

Ejemplo: Un invernadero necesita incrementar la humedad de 850 CFM de aire exterior entrante a 5 °C (40 °F) y 50 % de humedad; a 27 °C (80 °F) y 75 % de humedad. Refiriéndose al cuadro, "contenido de agua del aire" en la Sección Datos de Referencia, el aire a 5 °C (40 °F) y 50 % de humedad contiene 0.021 lbs de vapor de agua por 100 pies³. El aire a 80 °F y 75 % de humedad contiene 0.119 lbs de vapor de agua por 100 pies³. Las libras de vapor de agua para ser añadidas (DV) son 0.119 lbs - 0.021 lbs o 0.098 lbs por 100 pies cúbicos de aire.

$$F_H = \frac{(0.098 \text{ lbs}/100 \text{ pie}^3)(850 \text{ CFM} \times 60 \text{ min})}{100 \text{ CFM}}$$

$$F_H = 49.98 \text{ lbs/hr}$$

Se recomienda un factor de seguridad del 20 %

$$F_H = 49.98 \text{ lbs/hr} \times 1.2 \text{ SF} = 59.98 \text{ lbs/hr}$$

Temperatura constante del aire: Los requisitos de vapor para obtener la humedad en una aplicación típica de temperatura constante del aire pueden determinarse a partir de la Tabla de humidificación para reforzadores.

Ejemplo: La sala de un laboratorio es alimentada con 750 CFM de aire a 24 °C (75 °F) y 35 % de humedad relativa. La compañía quiere elevar la humedad en el laboratorio desde 35 % hasta 60 % mientras se mantiene una temperatura de 24 °C (75 °F). ¿Qué dimensión de caldera de vapor se necesita?

De la tabla, lea la línea de condición inicial a 24 °C (75 °F) - 35 % humedad relativa hasta la intersección de 60 % humedad relativa = 2.03 lbs/h/100 CFM

$$750 \text{ CFM} \div 100 \text{ CFM} \times 2.03 \text{ lbs/hr} = 15.225 \text{ lbs/hr}$$

$$15.225 \text{ lbs/hr} \times 20\% \text{ Factor de seguridad} = 18.27 \text{ lbs/hr}$$

Supercalentamiento de vapor: El objetivo principal en la mayoría de las aplicaciones de supercalentamiento de vapor es mejorar la calidad del vapor y eliminar "remanentes". En aplicaciones de calentamiento de vapor, la transferencia de calor más eficiente ocurre cuando se condensa el vapor de alta calidad (100 %) a la temperatura de saturación en el intercambiador de calor o el proceso. La mayor parte de la energía térmica en el vapor (calor latente o vaporización) se transfiere cuando el vapor se condensa a agua.

Desdichadamente, la descarga de vapor de la mayoría de las calderas de vapor contiene moléculas de agua o niebla que no han sido evaporada. Esto se llama "vapor mojado", y está calificado por un rango de factores de calidad desde el 85 % hasta el 95 %. El vapor mojado tiene una baja eficiencia de transferencia térmica y es indeseable en muchas aplicaciones comerciales. El excesivo "remanente" de agua líquida y niebla en el vapor mojado puede crear grandes problemas de funcionamiento en esterilizadores y autoclaves.

Para mejorar la calidad del vapor, el vapor mojado puede ser supercalentado para crear calidad 100 % o "vapor seco" usando un calentador de circulación. Por ejemplo, el vapor a 90 psig tiene una temperatura de saturación de 166 °C (331 °F). Elevando la temperatura de 90 psig de vapor a 171 °C (340 °F) ó 176 °C (350 °F) producirá vapor de calidad 100 %. Un incremento de 10° a 20° es usualmente más que suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Temperaturas más altas pueden ser necesarias si hay pérdidas excesivas en tuberías o en los equipos.

Salvo que hayan otras condiciones de funcionamiento que necesiten temperaturas del vapor altas, incrementar la temperatura a más de 20 ° - 30 ° por encima de la temperatura de saturación no se recomienda. Incrementar la temperatura del vapor sin incrementar la presión manométrica no aumenta significativamente el contenido de calor o las características de transferencia de calor del vapor. La energía calorífica necesaria para supercalentar el vapor puede ser graficada del nomograma de supercalentamiento de vapor mostrado en esta sección.

Refuerzo de la humidificación

Condición inicial		Humedad relativa deseada						
°F	Humedad relativa	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%
70	35%	0.345	0.690	1.03	1.38	1.72	2.07	2.42
70	40%	—	0.345	0.69	1.03	1.38	1.72	2.07
72	35%	0.368	0.728	1.10	1.46	1.83	2.20	2.57
72	40%	—	0.368	0.73	1.10	1.46	1.83	2.20
75	35%	0.405	0.810	1.22	1.62	2.03	2.43	2.84
75	40%	—	0.405	0.81	1.22	1.62	2.03	2.43

Nota: Lb-vapor /h/100 CFM necesarios para asegurar la humedad relativa deseada sin cambio en la temperatura del aire.

Información técnica

Supercalentamiento de vapor

Cálculo de los requisitos de kW para el supercalentamiento de vapor

El nomograma mostrado debajo puede usarse para determinar los kilovatios necesarios para supercalentar vapor saturado a elevadas temperaturas.

Ejemplo: Caliente 560 lbs/h de vapor con calidad del 90 % de 110 psig a 440 °F a la misma presión. En la línea P, grafique la presión manométrica (psig). Lea la temperatura del vapor saturado a la presión de funcionamiento. Réstela de la temperatura final deseada para determinar los grados de supercalentamiento (ΔT).

$$(\Delta T) = 440^{\circ}\text{F} - 344^{\circ}\text{F} = 96^{\circ}\text{F}$$

Dibuje una línea recta desde P a través de la línea Q, y lea la intersección en la línea W (W_1). Después, dibuje una línea recta desde el mismo punto en la línea P a través de S ($^{\circ}\text{F}$ de supercalentamiento) y lea la intersección en la línea W (W_2). Determine los kW usando W_1 y W_2 en la siguiente fórmula.

$$\text{kW/hr} = \frac{(\text{lbs/hr}) (W_2 - W_1)}{1000 \text{ W/kW}} \times 1.2 \text{ SF}$$

$$\text{kW/hr} = \frac{(560 \text{ lbs/hr}) (82 - 39)}{1000 \text{ W/kW}} \times 1.2 \text{ SF}$$

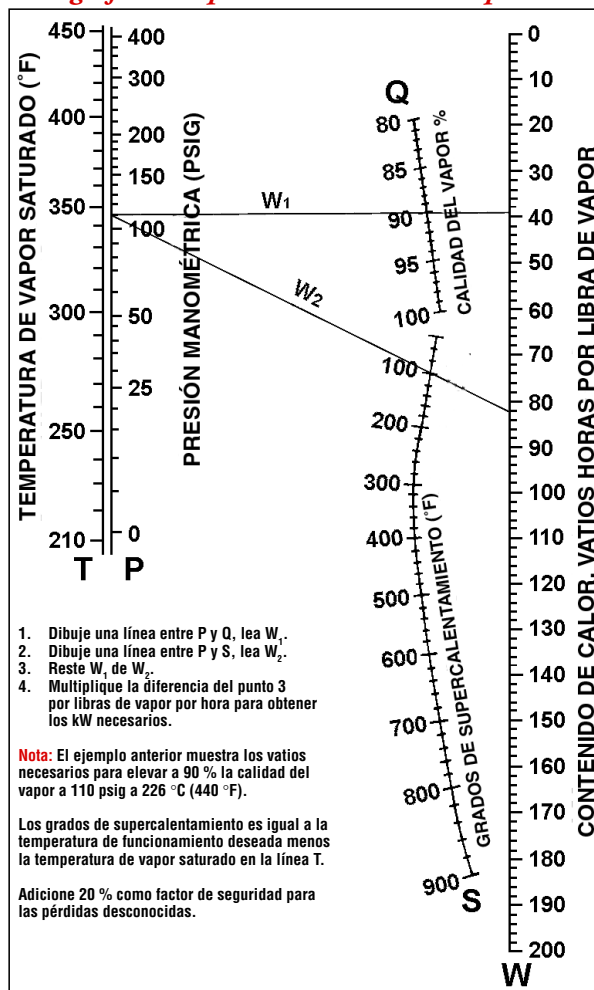
$$\text{kW/hr} = 28.896$$

Determinación de las temperaturas de la cámara y el forro metálico de los elementos para vapor supercalentado: Debido a que el vapor supercalentado es esencialmente un gas, el último paso en el procedimiento anterior es determinar las temperaturas máximas del forro metálico y la cámara del calentador de circulación usando la tabla 236 y el gráfico G-237 para calentamiento de aire y gas. En el ejemplo anterior, asuma que se usa un calentador Serie 6 con una densidad de potencia de 23 W/plg². De la tabla:

Temperatura del forro metálico = 781 °C (1440 °F)
Temperatura de la cámara = 504 °C (940 °F)

Seleccione un calentador Serie 6 capaz de operar en las condiciones de funcionamiento anteriores, en las páginas del producto en la Sección Calentador de Circulación.

Nomografía de supercalentamiento de vapor



Información técnica

Propiedades del vapor

Vapor saturado

Las propiedades termodinámicas del vapor saturado se muestran en la tabla que se muestra a la derecha. El vapor saturado es el vapor puro que se encuentra en contacto directo con el agua de la cual fue generado y que tiene la misma temperatura y presión que el agua. Por ejemplo, el vapor saturado a 50 psig tiene una temperatura de 148 °C (298 °F).

La presión de vapor es comúnmente expresada en **psia** o **psig**. Psia significa libras por pulgada cuadrada absoluta con referencia a un vacío perfecto. Psig significa libras por pulgada cuadrada medida en referencia a la presión atmosférica de 14.7 psi. Psia = psig + 14.7 (1 atmósfera)

El calor contenido en el líquido es la energía calorífica en Btu/lb necesaria para calentar el líquido para alcanzar condición indicada, comenzando con el agua a 32 °F.

El calor latente es la energía calorífica en Btu/lb absorbida cuando una libra de agua hirviendo es convertida a una libra de vapor a la misma temperatura. La misma cantidad de calor es liberada cuando el vapor se condensa regresando a agua a la misma temperatura. El calor latente varía con la temperatura.

Vapor saturado. Propiedades termodinámicas (dígito par más cercano)

Presión manométrica (psig)	Temp. (°F)	Btu/lb			Vapor saturado (pie³/lb)	Presión manométrica (psig)	Temp. (°F)	Btu/lb			Vapor saturado (pie³/lb)
		Calor de líquido	Calor latente	Vapor total				Calor de líquido	Calor latente	Vapor total	
0	212	180	970	1150	27.0	70	316	286	898	1184	5.2
1	216	183	968	1151	25.0	75	320	290	895	1185	4.9
2	219	187	965	1152	24.0	80	324	294	892	1186	4.7
3	222	190	964	1154	22.5	85	328	298	889	1187	4.4
4	224	193	962	1155	21.0	90	331	302	886	1188	4.2
5	227	195	961	1156	20.0	95	335	306	883	1189	4.0
6	230	198	959	1157	19.5	100	338	309	881	1190	3.9
7	232	201	957	1158	18.5	110	344	316	876	1192	3.6
8	235	203	956	1159	18.0	120	350	322	871	1193	3.3
9	237	206	954	1160	17.0	125	353	325	868	1193	3.2
10	240	208	952	1160	16.5	130	356	328	866	1194	3.1
15	250	218	945	1163	14.0	140	361	334	861	1195	2.9
20	259	227	940	1167	12.0	150	366	339	857	1196	2.7
25	267	236	934	1170	10.5	160	371	344	853	1197	2.6
30	274	243	929	1172	9.5	170	375	348	849	1197	2.5
35	281	250	924	1174	8.5	180	380	353	845	1198	2.3
40	287	256	920	1176	8.0	190	384	358	841	1199	2.2
45	292	262	915	1177	7.0	200	388	362	837	1199	2.1
50	298	267	912	1179	6.7	220	395	370	830	1200	2.0
55	303	272	908	1180	6.2	240	403	378	823	1201	1.8
60	307	277	905	1182	5.8	250	406	381	820	1201	1.75
65	312	282	901	1183	5.5	300	422	399	805	1204	1.48

Temperatura del agua suministrada a la caldera

La temperatura del agua suministrada a la caldera afecta directamente la cantidad de vapor que sale de la caldera. La siguiente tabla puede usarse para determinar el rango de vataje de una caldera cuando se conoce la carga de vapor, la presión manométrica y la temperatura del agua suministrada a la caldera.

Ejemplo: Un proceso necesita 450 libras de vapor por hora a 75 psig. La temperatura del agua suministrada es de 10 °C (50 °F). De la tabla, lea los kW/lb necesarios para un agua a 10 °C (50 °F) y una presión manométrica de 75 psig. Multiplique el factor por las libras de vapor: 0.3417 x 450 lbs = 153.8 kW.

Temperatura del agua suministrada a la caldera Vs. kW necesarios por libra de vapor

Agua suministrada (°F)	Presión manométrica de vapor (psig)										
	0	2	10	15	25	40	50	75	100	125	150
40	.3347	.3355	.3375	.3388	.3406	.3422	.3431	.3447	.3458	.3464	.3470
50	.3318	.3326	.3345	.3359	.3376	.3392	.3401	.3417	.3429	.3435	.3441
60	.3288	.3296	.3316	.3329	.3347	.3363	.3372	.3388	.3400	.3407	.3411
70	.3259	.3267	.3287	.3300	.3318	.3334	.3343	.3359	.3370	.3376	.3382
80	.3229	.3238	.3278	.3271	.3288	.3305	.3313	.3329	.3341	.3347	.3353
90	.3200	.3208	.3238	.3242	.3259	.3275	.3284	.3300	.3312	.3318	.3324
100	.3171	.3179	.3199	.3212	.3229	.3246	.3255	.3271	.3283	.3288	.3294
110	.3142	.3150	.317	.3183	.3200	.3217	.3225	.3242	.3253	.3259	.3265
120	.3112	.3120	.314	.3154	.3171	.3187	.3196	.3212	.3224	.3230	.3236
130	.3083	.3091	.3111	.3124	.3142	.3160	.3167	.3183	.3195	.3200	.3206
140	.3054	.3062	.3082	.3095	.3113	.3129	.3137	.3154	.3165	.3171	.3177
150	.3025	.3032	.3052	.3066	.3083	.3099	.3108	.3124	.3136	.3142	.3148
160	.2995	.3003	.3029	.3036	.3054	.3070	.3079	.3095	.3107	.3113	.3118
170	.2966	.2974	.2994	.3001	.3025	.3041	.3050	.3066	.3077	.3083	.3089
180	.2937	.2945	.2964	.2978	.2995	.3011	.3020	.3036	.3048	.3054	.3060
190	.2907	.2915	.2935	.2948	.2966	.2982	.2981	.3007	.3019	.3025	.3030
200	.2878	.2886	.2906	.2919	.2937	.2953	.2962	.2978	.2989	.2995	.3001