

Tabla 4-1. Guía de selección de la humidificación de Armstrong						
	Red de vapor disponible			Red de vapor no disponible		
	Sin relación química con el vapor de la planta	Relación con productos químicos	Vapor Desde el origen DI	Agua dura utilizada. Mantenimiento mínimo.	Se usa agua corriente. El precio más decisivo que el rendimiento	Se usa agua DI (unidades eléctricas)
Aplicación del sistema de manipulación del aire con emisión de vapor crítica	C	D/I	C	E/I	F/I	E/I
Aplicación del sistema de manipulación del aire con emisión de vapor no crítica	A/G	D/H/K	B/G	E/H	F/H	E/H
Descarga de área directa	A/J	D/J	B/J	E/J	F/J	E/J

Clave del tipo de humidificador

- A. Humidificador de inyección de vapor directa de la serie 9000
- B. Humidificador de inyección de vapor directa de la serie 1000
- C. Sistema HumidiPack/HumidiPack Plus System con válvula reguladora, purgador y filtro
- D. Humidificador de vapor a vapor de la serie CS-10
- E. Humidificador electrónico HumidiClean de la serie HC-4000
- F. Humidificador electrónico de tipo electrodo de la serie EHU-700

Tipo de dispersión

- G. Manifold con camisa de acero inox.
- H. Tubo de dispersión sin camisa de acero inox.
- I. Panel de distribución HumidiPack (sólo)
- J. Dispersión de tipo ventilador
- K. Tubo de dispersión con camisa de vapor (SJDT)

La emisión crítica de vapor incluye requisitos < 90 cm

Aunque la humedad es invisible a nuestros ojos, podemos observar fácilmente sus efectos. Para las condiciones humanas, estamos más cómodos y somos más eficaces con la humidificación adecuada. En entornos empresariales e industriales, el rendimiento de los equipos y los materiales mejora con la aplicación de un control de la humedad eficaz.

El mantenimiento de la calidad del aire de interiores mediante la gestión de la humedad puede reducir los costes de energía, aumentar la productividad, ahorrar costes de mano de obra y mantenimiento y garantizar la calidad del producto. En resumen, la humidificación puede proporcionar un mejor entorno y mejorar la calidad de vida y de trabajo.

Armstrong ha compartido sus conocimientos técnicos en aplicaciones de humidificación desde 1938. Con el diseño, la fabricación y la aplicación de equipos de humidificación, Armstrong ha abierto nuevos caminos para innumerables ahorros de energía, tiempo y dinero. Armstrong también ofrece el dimensionamiento de la humidificación y software y cintas de vídeo de selección, así como otros materiales de formación para ayudar a la selección, dimensionamiento, instalación y mantenimiento del equipo de humidificación.

Armstrong ofrece esta sección actualizada sobre Ingeniería de la humidificación como una ayuda de formación y solución de problemas para todas las personas implicadas en el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de control ambiental en todo tipo de edificios. Además, puede solicitar una copia gratuita del software de selección y dimensionamiento de la humidificación Humid-A-ware™ de Armstrong para realizar un dimensionamiento paso a paso de su propia instalación. También se puede pedir desde www.armstrong.be.

Las preguntas específicas sobre humidificación se las responderá su representante de Armstrong. Dispone de asistencia adicional por parte de especialistas en humidificación de Armstrong International para ayudar en aplicaciones difíciles o poco habituales.

La humidificación controlada ayuda a proteger los materiales, el personal, la maquinaria delicada y los equipos sensibles a la humedad. Más allá de las importantes cuestiones de comodidad y control de procesos, el control de la humedad puede ayudar a la protección en atmósferas explosivas. NO puede permitirse ignorar la humidificación. Y la mejor manera de proteger su inversión es mediante estrategias y soluciones probadas de humidificación lideradas por Armstrong.

Referencias

ASHRAE Handbook, 2000 Systems and Equipment [Manual ASHRAE (Asociación americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado), 2000; Sistemas y equipo].

ASHRAE Handbook, 2002 Fundamentals [Manual ASHRAE, 2002; Fundamentos].

ASHRAE Handbook, 1999 HVAC Applications [Manual ASHRAE, 1999; Aplicaciones de aire acondicionado, ventilación y calefacción].

IBM Installation Planning Manual [Manual de planificación de instalación de IBM], abril de 1973.

Obert, Edward F. Thermodynamics [Termodinámica], 1948.

Dentro de la sección de ingeniería de la humidificación...

Por qué es importante la humidificación

Cómo afecta la humedad a los materiales

Cómo determinar los requisitos de humedad de los materiales

Cómo puede ayudar la psicrometría en la humidificación

Cómo funcionan los humidificadores

Consideraciones al seleccionador humidificadores de vapor

Principios básicos de aplicación de los humidificadores de vapor

Consideraciones sobre el dimensionamiento de los humidificadores de vapor

Humidificadores de vapor en sistemas centrales

Consejos para la instalación

Aplicación de humidificadores autónomos para la descarga directa

Static Electricity, National Fire Protection Association [Electricidad estática. Asociación nacional de protección contra el fuego]. 1941. U.S. National Bureau of Standards [Oficina nacional de normalización de EE.UU.].

IMPORTANTE: En esta sección sólo se pretende resumir los principios generales de instalación y funcionamiento. La instalación y el funcionamiento reales sólo deben llevarlos a cabo personal experimentado. La selección o la instalación debe ir siempre acompañada de la asesoría o la asistencia de un técnico competente. Estos datos en ningún caso se utilizarán como sustituto de dicha asesoría o asistencia técnica. Le animamos a ponerse en contacto con Armstrong o su representante local para obtener más detalles.

Glossary

Humedad relativa (HR):

La relación de la presión del vapor (o fracción molar) del vapor de agua en el aire respecto a la presión del vapor (o fracción molar) del aire saturado a la misma temperatura de bulbo seco y presión.

Calor sensible:

Calor que cuando se añade o sustrae de una sustancia causa un cambio en la temperatura o, en otras palabras, se "registra" en un termómetro. Se mide en kJ.

Calor latente:

Calor que cuando se añade o sustrae de una sustancia causa o acompaña un cambio de fase en esa sustancia. Este calor no se registra en un termómetro, de ahí su denominación de "latente" u oculto. Se mide en kJ.

Punto de condensación:

La temperatura a la que se produce la condensación (100% de HR) cuando el aire se enfría a una presión constante sin añadir o sustraer vapor de agua.

Refrigeración por evaporación:

Un proceso por el que el agua líquida se evapora en aire. El líquido absorbe el calor necesario para el proceso de evaporación del aire, de este modo hay una reducción en la temperatura del aire y un incremento en el contenido real de vapor de agua en el aire.

Entalpía:

También denominada contenido de calor, es la suma de la energía interna y el producto del volumen por la presión. Se mide en kJ/kg.

Materiales higroscópicos:

Materiales capaces de absorber o rechazar la humedad.

Fase:

El estado de existencia de una sustancia, sólido, líquido o gas (vapor).

La humidificación es simplemente la adición de agua al aire. No obstante, la humedad ejerce una poderosa influencia sobre los factores ambientales y fisiológicos. Unos niveles inadecuados de humedad (tanto muy altos como muy bajos) pueden causar incomodidad a las personas y pueden dañar muchos tipos de equipos y materiales. Del mismo modo, el tipo adecuado de equipo y controles de humidificación pueden ayudar a conseguir un control de la humedad eficaz, económico y sin problemas.

Al considerar la importancia de la humedad entre otros factores ambientales – temperatura, limpieza, movimiento del aire y radiación térmica – es importante recordar que la humedad es quizás el menos evidente para la percepción humana. Muchos de nosotros reconoceríamos y reaccionaríamos rápidamente a los cambios de temperatura, olores o partículas de polvo en el aire, a las corrientes de aire o al calor radiante. Como la humedad relativa se interrelaciona con estas variables, se convierte en un ingrediente vital del control ambiental total.

Humedad y temperatura

La humedad es el contenido de vapor de agua que siempre está presente en el aire. La humedad se puede definir como una medida absoluta: la cantidad de vapor de agua en una unidad de aire. Pero esta medida de humedad no indica lo húmedo o seco que está el aire. Esto sólo se puede hacer con el cálculo de la relación de la presión de vapor parcial real respecto a la presión de vapor parcial saturada a la misma temperatura. Esto es la humedad relativa, que se expresa con la fórmula:

$$HR = \frac{vp_a}{vp_s} \Big| t$$

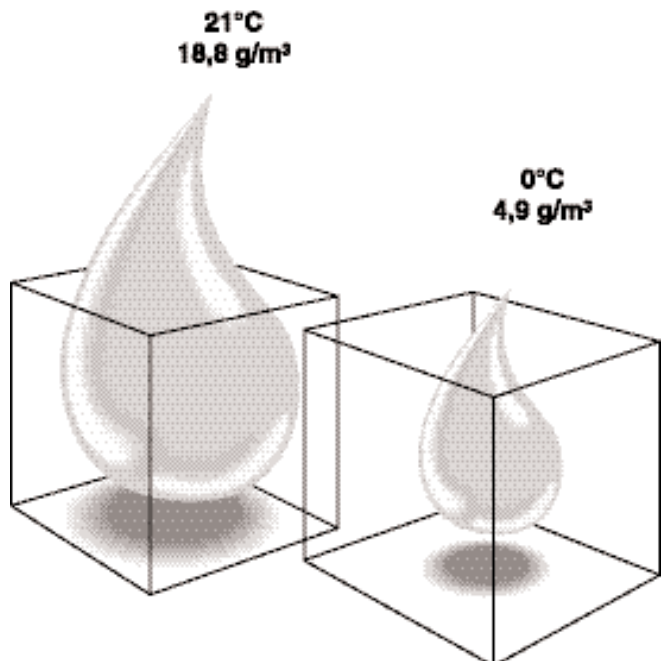
vp_a = presión de vapor real

vp_s = presión de vapor en la saturación

t = temperatura de bulbo seco

Para los propósitos prácticos, a las temperaturas y presiones que normalmente se encuentran en los sistemas de los edificios, la humedad relativa se considera como la cantidad de vapor de agua en el aire comparada con la cantidad que el aire puede contener a una temperatura dada.

"A una temperatura dada" es la clave para entender la humedad relativa. El aire cálido tiene la capacidad de contener más humedad que el aire frío. Por ejemplo, 1 metro cúbico de aire a 21°C puede contener 18,8 g de humedad. El mismo 1 metro cúbico de aire a 0°C puede contener sólo 4,9 g de humedad.



Si 1 metro cúbico de aire a 0°C contuviera 3,6 g de humedad, su humedad relativa sería del 75%. Si el sistema de calefacción aumenta la temperatura de este aire a 21°C sin añadir humedad, seguirá conteniendo 3,6 g de humedad. No obstante, a 21°C, 1 metro cúbico de aire puede contener 18,8 g de humedad. Por lo tanto, los 3,6 gramos que contiene dan una humedad relativa de un poco más del 19%. Eso es muy seco... ¡Más seco que en el desierto del Sáhara!

Movimiento del aire y humedad

Otra variable, el movimiento del aire en forma de infiltración y exfiltración en el edificio, influye en la relación entre temperatura y humedad relativa. Normalmente, de una a tres veces cada hora (y muchas más veces por los conductos o escapes forzados) el aire frío del exterior sustituye el aire del interior. El sistema de calefacción calienta el aire frío y húmedo del exterior y produce aire caliente y seco en el interior.

Refrigeración por evaporación

Hemos comentado los efectos del cambio de temperatura en la humedad relativa. La alteración de la HR también puede causar que cambie la temperatura. Por cada kilogramo de humedad evaporada por el aire, el calor de la vaporización reduce el calor sensible en el aire en unos 2 320 kJ. Se trata de una humedad absorbida por las personas o por la madera, el papel, los textiles y otros materiales higroscópicos del edificio. Del mismo modo, si los materiales higroscópicos absorben la humedad del aire húmedo, el calor de la vaporización puede liberarse en el aire e incrementar el calor sensible.

Punto de condensación

La condensación se forma en las ventanas siempre que la temperatura de la superficie del cristal está por debajo del punto de condensación del aire. La tabla 7-2, a partir de datos presentados en el ASHRAE Systems and Equipment Handbook [Manual de la ASHRAE de sistemas y equipos], indica combinaciones de humedad relativa interior y temperatura exterior a las cuales se formará condensación. Las unidades de inducción, que normalmente se utilizan bajo las ventanas en los edificios modernos para inyectar aire en el cristal, permiten tratar con humedades relativas sin condensación visible.

Tabla 7-1. Kg de agua por metro cúbico de aire saturado y kg de aire seco a varias temperaturas. (Extraído del manual de ASHRAE)

°C	Relación de : por humedad kg _w /kg _a	Volumen específico m³/kg	°C	Relación de : por humedad kg _w /kg _a	Volumen específico m³/kg
-10	0,0013425	0,7469	8	0,006683	0,8046
-9	0,0014690	0,7499	9	0,007157	0,8081
-8	0,0016062	0,7530	10	0,007661	0,8116
-7	0,0017551	0,7560	11	0,008197	0,8152
-6	0,0019166	0,7591	12	0,008766	0,8188
-5	0,0024862	0,7622	13	0,009370	0,8225
-4	0,0027081	0,7653	14	0,010012	0,8262
-3	0,0029480	0,7685	15	0,010692	0,8300
-2	0,0032074	0,7717	16	0,011413	0,8338
-1	0,0034874	0,7749	17	0,012178	0,8377
0	0,003789	0,7781	18	0,012989	0,8417
1	0,004076	0,7813	19	0,013848	0,8457
2	0,004381	0,7845	20	0,014758	0,8498
3	0,004707	0,7878	21	0,015721	0,8540
4	0,005054	0,7911	22	0,016741	0,8583
5	0,005424	0,7944	23	0,017821	0,8627
6	0,005818	0,7978	24	0,018963	0,8671
7	0,006237	0,8012	25	0,020170	0,8717

Tabla 7-2. Humedades relativas a las cuales aparece condensación Ventanas a 21°C cuando la superficie del cristal no se ha calentado

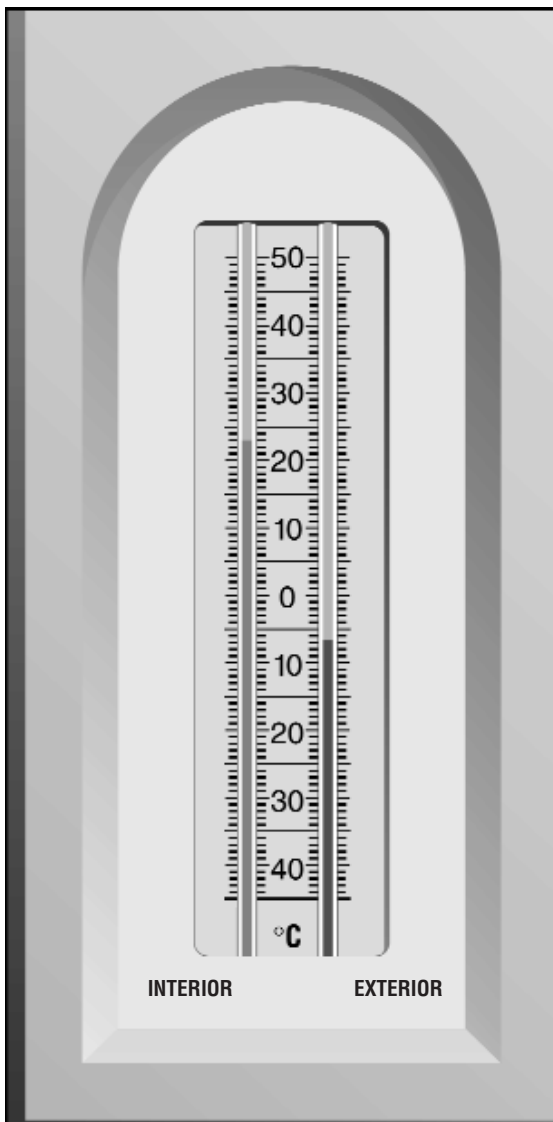
Temperatura exterior	Un solo cristal	Cristal doble (Ventanas con cámara de aire o cristales térmicos)
-23°C	11%	38%
-18°C	16%	42%
-12°C	21%	49%
-7°C	28%	56%
-1°C	37%	63%
4°C	48%	71%

Conservación de la energía con una HR controlada

La humedad relativa de interior, tal como la hemos calculado, se denomina Humedad relativa teórica de interiores (TIRH, por sus siglas en inglés). Virtualmente nunca existe. La HR observada en un dispositivo de medición llamado higrómetro casi siempre excederá la TIRH. ¿Por qué? El aire seco es aire que tiene sed. Intentará extraer la humedad de cualquier fuente posible. De este modo, absorberá la humedad de los materiales higroscópicos (como la madera, el papel, los alimentos, el cuero, etc.) y secará las vías nasales y la piel de las personas que se encuentren en el edificio.

¿Y esta "humidificación" es gratuita? No, es la más cara que hay cuando se traduce a términos de comodidad para las personas, deterioro de materiales y dificultades de producción. Además, se necesita la misma cantidad de energía si la humedad la absorben las personas y los materiales o si se añade al aire mediante un sistema de humidificación eficaz.

La energía que se necesita para el sistema de humidificación se calcula a partir del nivel real de humedad que habrá en el edificio, NO del nivel teórico. En casi todos los casos, el coste de controlar la HR en el nivel deseado sería nominal en lo que respecta a la carga de energía adicional y, en algunos casos puede dar como resultado un consumo de energía inferior.



Un gran centro de convenciones de la zona central de Estados Unidos informó de que había experimentado un descenso en el consumo total de vapor cuando puso en práctica la humidificación por vapor. De una temporada de calefacción sin humidificación a la siguiente con humidificadores en funcionamiento, el consumo de vapor para humidificación fue de 820 toneladas, mientras que el vapor para calefacción disminuyó en 1 130 toneladas para el mismo periodo. La reducción en el consumo (según contador) se produjo a pesar de que el tiempo fue un 7,2% más frío que en el año anterior. Los registros de esta instalación indican que es posible reducir la cantidad total de vapor necesaria para el control ambiental si se mantiene una humedad relativa más alta y controlada.

Examinemos un sistema teórico mediante la entalpía (contenido de calor) como base.

- Supongamos que es un día de invierno con una temperatura exterior de 0°C a 75% HR.
- La entalpía del aire es 7,1 kJ/kg de aire seco (DA).
- Si el aire se calienta a 22°C sin añadir humedad, la entalpía pasa a ser 29,2 kJ/kg de DA.
- La humedad relativa teórica pasa a ser del 17%, pero la HR real será de un 25%.
- A 22°C y 25% de HR, la entalpía es 32,4 kJ/kg de DA.
- La humedad adicional se deriva de los materiales higroscópicos y de las personas en la zona.

Pero ¿qué ocurre con la energía adicional, la diferencia entre 29,2 kJ/kg de DA y 32,4 kJ/kg de DA? Este aumento del 11% debe proceder del sistema de calefacción para compensar el efecto de la refrigeración por evaporación. Si se utiliza un sistema de humidificación y se añade humedad para lograr un comfortable 35% de HR, la entalpía es 36,8 kJ/kg de DA.

Es sólo un aumento del 13,5% sobre la "inevitable" carga de energía de 32,4 kJ/kg de DA, sustancialmente menos que el aumento teórico del 26% desde 17% de HR (29,2 kJ/kg de DA) a 35% de HR (36,8 kJ/kg de DA) a 22°C. Si la temperatura fuese sólo de 19°C a 35% de HR (porque las personas pueden estar cómodas a temperaturas inferiores con niveles de humedad más altos), la entalpía sería 32 kJ/kg de DA, o un ligero descenso de energía.

Problemas con el aire seco

El aire seco puede causar varios problemas costosos, molestos y, a veces, peligrosos. Si no está familiarizado con los efectos del aire seco, la causa de estos problemas quizá no sea obvia. Debería preocuparle si procesa o manipula materiales higroscópicos como madera, papel, fibras textiles, pieles o productos químicos. El aire seco y/o la humedad fluctuante pueden ser causa de problemas graves de producción y/o del deterioro de los materiales.

La electricidad estática se puede acumular en condiciones atmosféricas secas y puede interferir en el funcionamiento eficaz de la maquinaria de producción o en las máquinas de oficina electrónicas. Donde se manipulan materiales con tendencia a acumular estática, como papel, películas, discos informáticos y otros plásticos, el aire seco agrava intensamente el problema de la estática. En atmósferas potencialmente explosivas, el aire seco y sus acumulaciones de electricidad estática resultantes pueden ser extremadamente peligrosos.

Humedad y sensación confortable para las personas

Los estudios realizados indican que las personas en general se sienten cómodas cuando la humedad relativa se mantiene entre el 35% y el 55%. Cuando el aire está seco, la humedad se evapora más deprisa de la piel y produce una sensación de frío incluso con temperaturas de 24°C o más. Como la percepción humana de la HR a menudo se siente como diferencial de temperatura, es posible lograr unas condiciones confortables con el control adecuado de la humedad a bajas temperaturas. Los ahorros en costes de calefacción son habitualmente muy significativos en el transcurso de una sola temporada de calefacción.

La necesidad de controlar la humedad en el lugar de trabajo electrónico actual

La electrónica ha revolucionado la manera en que nuestras oficinas y fábricas funcionan, se comunican, obtienen datos y mantienen los equipos. En la oficina, las fotocopiadoras, los sistemas de telefonía, ordenadores y faxes, incluso los termostatos de pared se controlan electrónicamente. Además, las tendencias de decoración de las oficinas hacen que muchas estaciones de trabajo incorporen paneles de pared y muebles con más tejidos naturales y sintéticos que antes.

En las áreas de fabricación, más máquinas se controlan electrónicamente. De hecho, vemos más salas de control (para alojar los sistemas de control electrónicos) que hace unos años.

Todo esto significa que la naturaleza de las empresas actuales hacen que la humidificación adecuada sea una necesidad.

Por qué una humidificación inadecuada supone una amenaza para los equipos electrónicos sensibles

Una pieza central de todos los circuitos electrónicos actuales es el CI (circuito integrado) o "chip". El corazón del CI es un circuito del grosor de una oblea diminuta impresa en un material semiconductor. Los componentes electrónicos, y especialmente los chips, pueden sobrecargarse por oscilaciones eléctricas (picos de voltaje). Esto puede causar cráteres y la fusión de áreas diminutas del semiconductor, y provocar interrupciones del funcionamiento, pérdidas de memoria o fallos permanentes. El daño puede ser inmediato o el componente puede fallar antes que una pieza no expuesta a oscilaciones eléctricas.

Una causa principal de los picos de voltaje es la descarga electrostática (ESD). Aunque de una duración extraordinariamente corta, las oscilaciones pueden ser letales para las superficies finas de los semiconductores. Una ESD puede llevar un voltaje tan alto como un rayo y descarga con más rapidez. La ESD es un fenómeno especialmente peligroso porque la fuente de esas oscilaciones somos las personas. Se trata de la electricidad estática que se acumula en nuestro cuerpo. La sacudida que notamos cuando tocamos el pomo de una puerta o nos damos la mano con otra persona es una ESD. La tabla 9-1 a continuación muestra los voltajes que se pueden generar en las actividades cotidianas.

El voltaje se acumula en las superficies (en este caso, el cuerpo humano) y cuando la superficie se acerca a otra con un voltaje inferior se produce una descarga de voltaje eléctrico. Observe los niveles de humedad a los que se pueden generar esos voltajes. A medida que aumenta el nivel de humedad, los voltajes se reducen porque sobre las superficies se forma una película de humedad que conduce las cargas hacia el suelo. Aunque el 65%-90% de HR citado en la tabla 9-1 es poco factible para las áreas de oficinas, cualquier incremento de la humedad producirá una reducción significativa en eventos de ESD.

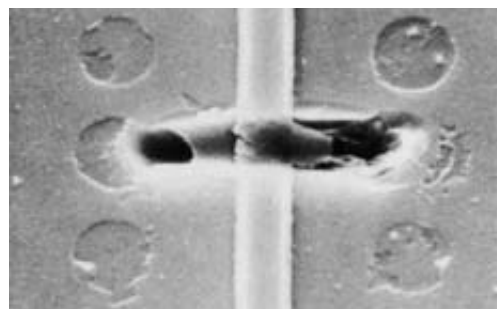
Los daños por ESD no sólo son posibles, sino probables

Durante 16 meses se llevó a cabo un estudio de eventos por ESD entre el personal de una sala poco controlada con una alfombra de lana. La fuerza del evento de ESD se midió en corriente (amperios). Los resultados indican, por ejemplo, que una descarga de corriente de 0,3 amperios es 100 veces más probable que ocurra al 10%-20% de HR que al 45%-50% de HR. Es decir, cuanto más alta es la humedad relativa, más inferior es la producción y la gravedad de la ESD.

Además del riesgo de daños en los dispositivos eléctricos producidos por cargas de electricidad estática, también hay riesgos graves asociados con las chispas de las cargas estáticas en muchas aplicaciones procesos. La electricidad estática es muy peligrosa en presencia de gases, líquidos volátiles o polvos explosivos, como los que se encuentran en fábricas de munición, cabinas de pulverización de pintura, imprentas, industrias farmacéuticas y lugares similares.

Aunque hay muchos productos para el control de la estática (moquetas y alfombras especiales, aerosoles, correas, etc.), recuerde que la humidificación es un medio pasivo de control de la estática. Trabaja constantemente para controlar la estática, no sólo cuando alguien se acuerda de ello.

Figura 9-1. Efecto de la humedad en los voltajes electrostáticos.



Circuito integrado dañado por una ESD.
(Fotografía cortesía de Motorola Semiconductor, Inc.)

Medios de generación de la estática	Voltajes electrostáticos	
	10%-20% de humedad relativa	65%-90% de humedad relativa
Caminar sobre la alfombra	35 000	1 500
Caminar sobre un suelo de vinilo	12 000	250
Trabajador en su banco de trabajo	6 000	100
Sobres de vinilo con las instrucciones de trabajo	7 000	600
Bolsa normal de polietileno tomada del banco de trabajo	20 000	1 200
Silla de trabajo acolchada con espuma de poliuretano	18 000	1 500

Papel y productos de papel

Todos los encargados de producción de la industria del papel están familiarizados, por experiencia, con las pérdidas excesivas de material y con las quejas del cliente que se pueden producir como resultado de los problemas del invierno siguientes:

1. Ondulación de la pasta de papel.
2. Grietas o roturas en las cajas dobladas, cartones, contenedores corrugados y de fibra sólida.
3. Pérdida de fuerza de paquetes y contenedores.
4. Retrasos en la producción cuando las hojas no pasan correctamente por las máquinas debido a la electricidad estática.
5. Fallos de encoladura.

Todos estos problemas invernales tienen una causa común: el papel se seca o se ondula por las bajas humedades relativas del interior.

Cuando se calienta el aire, sin añadir humedad, su HR cae. La tabla 10-1 muestra que el aire del exterior a -18°C y a un 75% de HR tendrá una humedad relativa de sólo el 4,4% cuando se caliente en el interior a 21°C . Incluso aunque la RH teórica debería ser del 4,4% en la fábrica, la humedad real observada será mucho más alta debido a la que expelen el papel. Este tipo de humidificación es muy cara en términos de la pasta de papel y la producción.

La HR del aire circundante rige el contenido de humedad del papel, como se muestra en la tabla 11-1. Las fibrillas del papel absorben la humedad cuando el papel está más seco que el aire circundante y la expelen cuando las condiciones son las inversas.

Un contenido de humedad del papel del 5%-7% es esencial para mantener la solidez y la manejabilidad satisfactorias del papel. Esto requiere una HR en interior de un 40%-50%, en función de la composición del papel.

Los contenidos de humedad de distintos tipos de papeles variarán ligeramente respecto a los que se muestran en la tabla, pero seguirán un patrón idéntico.

Los cambios en el contenido de humedad causan de este modo que el papel se vuelva más grueso o más fino, más liso o más ondulado, más duro o más suave, más grande o más pequeño, flexible o frágil.



Figura 10-1. Efectos del contenido de humedad en el papel doblado. La hoja de la izquierda tiene la humedad adecuada. A la hoja de la derecha le falta humedad, está seca y frágil, y se rompe por el doblez.

Tabla 10-1. Cómo la calefacción en interior reduce la HR de interior y seca el papel

Temperatura exterior en $^{\circ}\text{C}$	Temperatura interior de 21°C	
	Humedad relativa en interior en %	Contenido de humedad aproximado del papel en %
-29	1,5	0,5
-23	2,5	0,8
-18	4,4	1,2
-12	7,2	2,2
-7	11,6	3,3
-1	18,1	4,3
4	26,8	5,3
10	38,3	6,4
16	54,0	8,0
21	75,0	11,6

Efecto de la calefacción en interior sobre la HR y el contenido de humedad en papel kraft de envolver. NOTA: En esta tabla se supone una humedad relativa exterior del 75%. Cuando la HR del exterior es inferior, como es habitual, la RH del interior también es inferior. Las temperaturas en interior superiores a 21°C también causarán humedades relativas inferiores.



Impresión

Los problemas de aire seco que se encuentran en la fabricación del papel también son habituales en la industria de la impresión.

La ondulación del papel, normalmente causada por la expansión y la contracción de una hoja de papel sin proteger, tiene lugar cuando una atmósfera demasiado seca extrae la humedad de la superficie expuesta, que se encoge y se curva. La onda seguirá la fibra de la hoja. Este problema es más importante con pastas de papel muy ligeras o con pastas más fuertes para portadas y papeles satinados por una cara.

Productos de madera, carpintería y fabricación de muebles

Como todos los materiales higroscópicos, la madera absorbe o expelle la humedad según varíe la HR del aire circundante. Cuando, a una temperatura y una humedad relativa dadas, la madera deja finalmente de absorber o expeler humedad, se dice que ha alcanzado su contenido de humedad equilibrado (EMC, por sus siglas en inglés). La humedad de la madera está entonces "en equilibrio" con la humedad del aire.

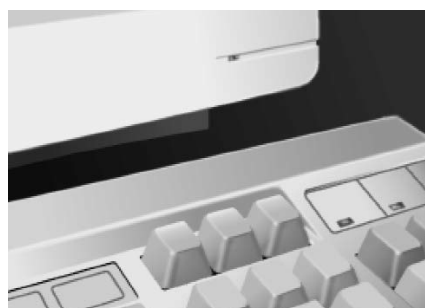
En general, no es práctico mantener la HR de interior igual de alta en los meses fríos como en los meses cálidos. No obstante, en la estación fría, los humidificadores permiten una reducción gradual de la HR y el EMC a un nivel de trabajo mínimo y práctico. Bajo estas condiciones controladas, no se producirán combas ni grietas.

Procesamiento de pieles

Una HR mantenida uniformemente en el rango del 40%-60% (más alta en las salas de muelas) reduce la formación de grietas, minimiza la pérdida de pliegue, ayuda a mantener la calidad y el aspecto y reduce el problema del polvo en la fábrica.

Oficinas

Una HR mantenida al 30%-40% detiene la exfoliación, el agrietamiento, el encogimiento y el fallo de encoladura en empanelados y mobiliario, y añade vida a alfombras y cortinajes. Los equipos electrónicos de oficina, como ordenadores, fotocopiadoras y sistemas telefónicos, requieren una HR constante del 40%-50% para protegerse contra oscilaciones eléctricas dañinas (consulte la página 9).



Bibliotecas y museos

Una humedad relativa mantenida uniformemente a 40%-55% en salas de almacenamiento, depósitos y galerías prolonga la vida de las colecciones valiosas porque estabiliza la flexibilidad de la cola, el almidón y la caseína. Se minimiza la fragilidad del papel, el lienzo, el papiro, las encuadernaciones de piel, etc..

Tabla 11-1. Contenido de humedad del papel en distintas humedades relativas (en g/kg)

Material	Descripción	% de humedad relativa								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
Papel para periódico MF	Pasta de madera 24% cenizas	2,1	3,2	4,0	4,7	5,3	6,1	7,2	8,7	10,6
Papel para escribir HMF	Pasta de madera 3% cenizas	3,0	4,2	5,2	6,2	7,2	8,3	9,9	11,9	14,2
Papel para escrituras	Trapos 1% cenizas	2,4	3,7	4,7	5,5	6,5	7,5	8,8	10,8	13,2
Libro mayor	75% trapos 1% cenizas	3,2	4,2	5,0	5,6	6,2	6,9	8,1	10,3	13,9
Papel kraft	Coníferos	3,2	4,6	5,7	6,6	7,6	8,9	10,5	12,6	14,9

No hay un solo nivel de humedad relativa que ofrezca un contenido adecuado de humedad para todos los materiales higroscópicos. Los requisitos del contenido de humedad varían mucho de un material a otro. Comentaremos los materiales higroscópicos típicos que requieren niveles de HR específicos para evitar la pérdida de humedad y el deterioro de los materiales y/o los problemas de producción que se derivan.

Tabla 12-1. Humedades relativas recomendadas

Proceso o producto	Temp. °C	% HR	Proceso o producto	Temp °C	% HR	Proceso o producto	Temp. °C	% HR
Domicilios	2		Conmutador:			Té		
Bibliotecas y museos			Conjunto de fusible y disyuntor	23	50	Envasado	18	65
Archivos	13-18	35	Bobina del condensador	23	50	Tabaco		
Almacenamiento de arte	16-22	50	Almacenamiento de papel	23	50	Cigarros y cigarrillos	21-24	55-65
Animales con piel disecados	4-10	50	Conexión conductora con hilo	24	65-70	Ablandamiento	32	85-88
Centros de comunicaciones			Conjunto de pararrayos	20	20-40	Criba y picadura	24-29	70-75
Terminales telefónicas	22-26	40-50	Conjunto y prueba de interruptores magnetotérmicos	24	30-60	Envasado y envío	23-24	65
Estudios de radio y TV	23-26	30-40	Reparación de transformador de alto voltaje	26	55	Estuchado y acondicionamiento del tabaco de filtro	24	75
Edificios públicos y comerciales	21-23	20-30	Generadores de turbina hidráulica:			Almacenamiento y preparación del tabaco de filtro	25	70
(incluye cafeterías, restaurantes, terminales de aeropuerto, edificios de oficinas y boleras)			Aislamiento de la corredera de empuje	21	30-50	Almacenamiento y acondicionamiento del tabaco de envolver	24	75
Hospitales e instalaciones sanitarias			Rectificadores:			Farmacia		
Áreas clínicas generales	22	30-60	Procesamiento de placas de selenio y de óxido de cobre	23	30-40	Almacenamiento de polvos (antes de fabr.)	*	*
Área quirúrgica			Pieles			Almacenamiento de polvos fabricados y áreas de envasado	24	35
Quirófanos	20-24	50-60	Almacenamiento	4-10	55-65	Sala de molido	24	35
Salas de recuperación	24	50-60	Goma			Compresión de los comprimidos	24	35
Obstetricia			Fabricación	25	33	Sala de recubrimiento de los comprimidos	24	35
Sala de neonatos a término	24	30-60	Enrollamiento	20	63	Comprimidos y polvos efervescentes	24	20
Sala de neonatos de cuidados especiales	24-27	30-60	Desmoldeo	22	53	Comprimidos hipodérmicos	24	30
Materiales higroscópicos industriales			Rotura	23	47	Coloides	24	30-50
Abrasivos			Envoltura	23	58	Pastillas para la tos	24	40
Fabricación	26	50	Cuero			Productos glandulares	24	5-10
Cerámica			Secado	20-52	75	Fabricación de ampollas	24	35-50
Refractaria	43-66	50-90	Almacenamiento, temp. amb. invierno	10-16	40-60	Cápsulas de gelatina	24	35
Sala de moldeo	27	60-70	Lentes (óptica)			Almacenamiento de cápsulas	24	35
Almacenamiento de arcilla	16-27	35-65	Fusión	24	45	Microanálisis	24	50
Producción de calcomanías	24-27	48	Pulimentación	27	80	Fabricación biológica	24	35
Sala de decoración	24-27	48	Cerillas			Extractos de hígado	24	35
Cereales			Fabricación	22-23	50	Sueros	24	50
Envasado	24-27	45-50	Secado	21-24	60	Salas de animales	24-27	50
Destilación			Almacenamiento	16-17	50	Salas de animales pequeños	24-26	50
Almacenamiento			Setas					
Granos	-14	35-40	Adición de esporas	16-22	**			
Levadura líquida	0-1		Período de crecimiento	10-16	80			
Fabricación general	16-24	45-60	Almacenamiento	0-2	80-85			
Envejecimiento	18-22	50-60	Aplicación de pintura					
Productos eléctricos			Óleos, pinturas: Pulverización de pintura	16-32	80	Procesamiento fotográfico		
Electrónica y rayos X:			Plásticos			Estudio fotográfico		
Bobinado de transformadores y bobinas	22	15	Áreas de fabricación:			Sala de tratamiento	22-23	40-50
Montaje de semiconductores	20	40-50	Compuestos de moldeo termoestables	27	25-30	Estudio (sala de cámaras)	22-23	40-50
Instrumentos eléctricos			Envoltura de celofán	24-27	45-65	Sala oscura de películas	21-22	45-55
Fabricación y laboratorio	21	50-55	Contrachapados			Sala oscura de impresión	21-22	45-55
Montaje y calibración termostáticos	24	50-55	Prensado en caliente (resina)	32	60	Sala de secado	32-38	35-45
Montaje y calibración higrostatizados	24	50-55	Prensado en frío	32	15-25	Sala de acabado	22-24	40-55
Mecanismos pequeños:			Artículos bañados en caucho			Sala de almacenamiento película y papel en b/n	22-24	40-60
Montaje de tolerancia crítica	22	40-45	Aglutinación	27	25-30*	película y papel en color	4-10	40-50
Montaje y prueba de contadores	24	60-63	Baño de artículos quirúrgicos	24-27	25-30*	Estudio de filmación	22	40-55
			Almacenamiento antes de la fabricación	16-24	40-50*			
			Laboratorio (estándar ASTM)	23	50*	Control de electricidad estática		
						Control de textiles, papel, explosivos		>55
						Salas y espacios limpios		45
						Procesamiento de datos	22	45-50
						Procesamiento de papel		
						Área de acabado	21-24	40-45
						Laboratorio de pruebas	23	50

* almacenar en contenedores de plástico sellados en bidones sellados.

* El punto de condensación del aire debe estar por debajo de la temperatura de evaporación del disolvente
** Casi saturado

Resumido de ASHRAE Systems and Applications Handbook [Manual de sistemas y aplicaciones de ASHRAE].

Cómo puede ayudar la psicrometría en la humidificación



Directrices de ingeniería de humidificación

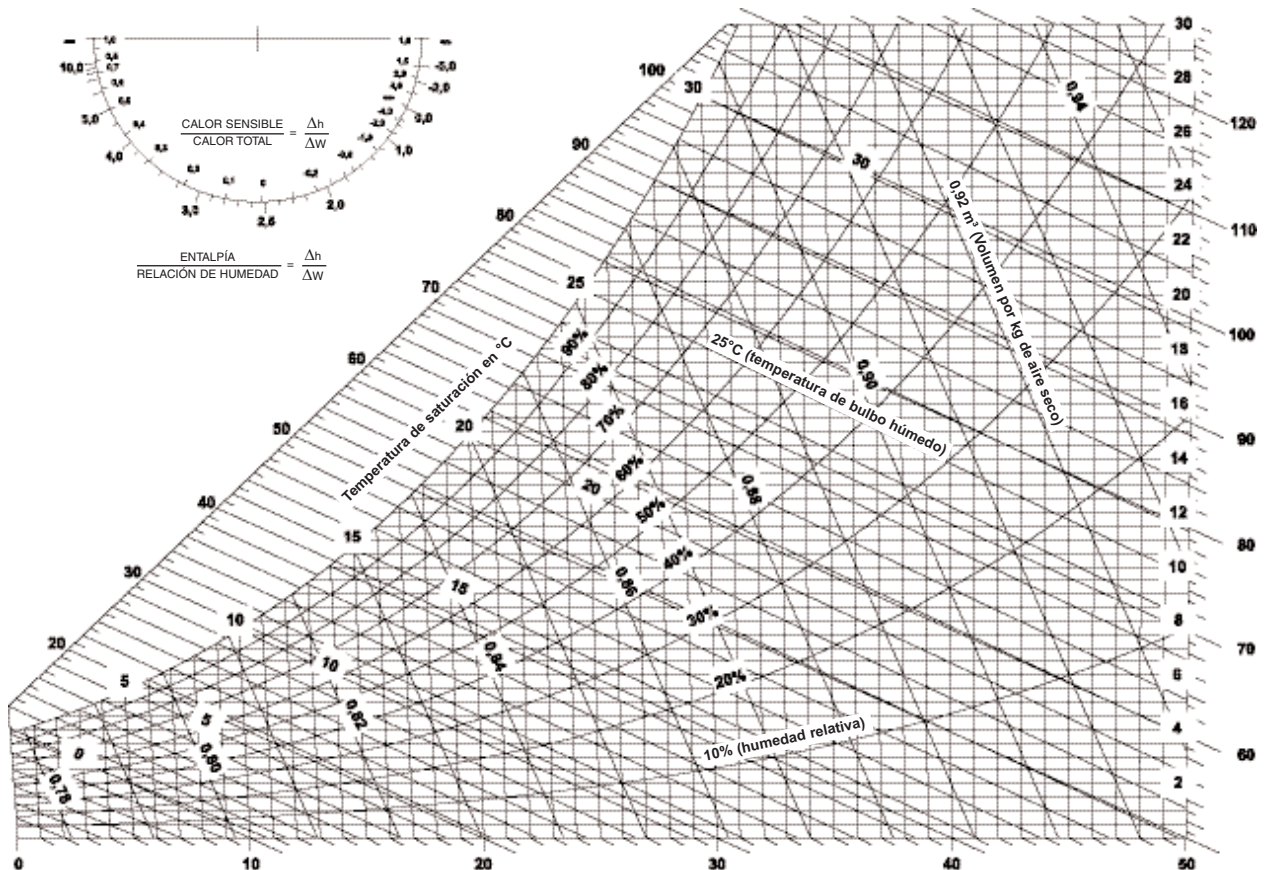
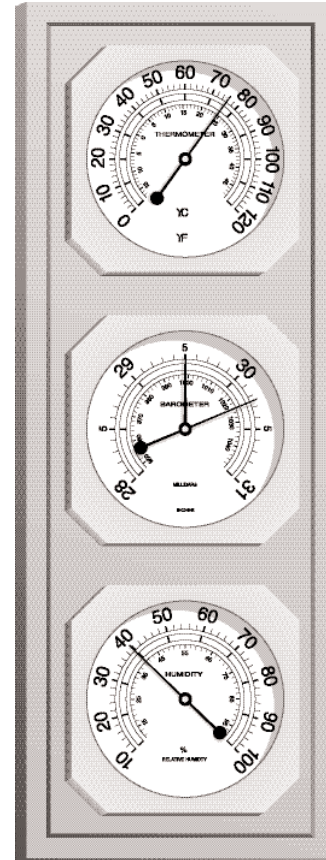
La psicrometría es la medición de las propiedades termodinámicas en el aire húmedo. Como herramienta de solución de problemas, la psicrometría destaca por mostrar claramente cómo pueden afectar los cambios en calefacción, refrigeración, humidificación, deshumidificación, a las propiedades del aire húmedo. Los datos psicrométricos se necesitan para solucionar distintos problemas y procesos relacionados con la distribución del aire.

Muchos problemas complejos de calefacción, refrigeración, y humidificación son combinaciones de problemas relativamente sencillos. El gráfico psicrométrico ilustra estos procesos de forma gráfica y muestra claramente cómo los cambios afectan a las propiedades del aire húmedo.

Uno de los motivos por los que los datos psicrométricos son especialmente importantes actualmente se observa en la manera en que se calientan la mayoría de edificios nuevos (y muchos de los antiguos). Las bajas temperaturas de conducto (13°C e inferiores) que se utilizan en los edificios nuevos, hacen más difícil el control adecuado de la humedad. (Esto se debe a que las bajas temperaturas de conducto tienen una capacidad limitada de absorber la humedad. La adición de humedad a través del sistema central de manipulación del aire debe compensar el recalentamiento del aire antes de que deje el conducto.)

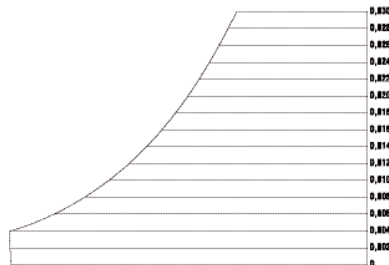
Para este tipo de aplicaciones, la humidificación reforzada debe conseguirse en el conducto de la zona después de que haya alcanzado su temperatura final (recalentado).

Para mantener las condiciones habituales de 21°C y 50% de HR, las humedades del conducto serán muy altas (75% de HR y superior). Para evitar que el conducto se sature, se utiliza un higrostató de límite alto para el conducto que, en estos casos, se convierte en el control principal del humidificador. Como este higrostató está muy cerca del humidificador, y el aire se mueve constantemente y debe controlarse cerca de la saturación, el control de salida del humidificador debe ser rápido, preciso y repetible.

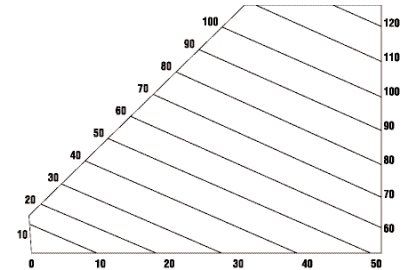


El gráfico psicrométrico es la representación gráfica de las propiedades termodinámicas que tienen un impacto en el aire húmedo.

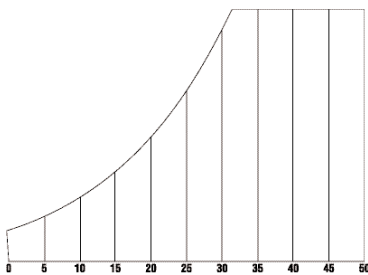
Consta de ocho componentes principales:



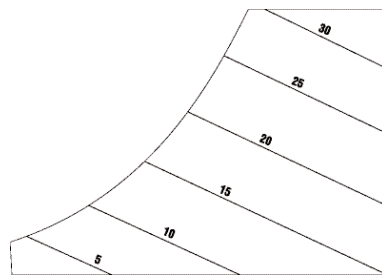
1. Los valores de la relación de humedad se trazan verticalmente a lo largo del margen derecho, empezando por 0 kg/kg de aire seco en la parte inferior y ampliando a 0,03 kg/kg de aire seco en la parte superior.



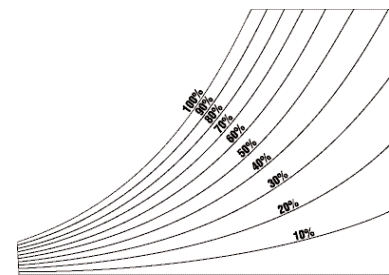
2. Entalpía, o el calor total, se traza con líneas oblicuas, a intervalos de 10 kJ/kg de aire seco, ampliando desde el extremo superior izquierdo hasta el inferior derecho.



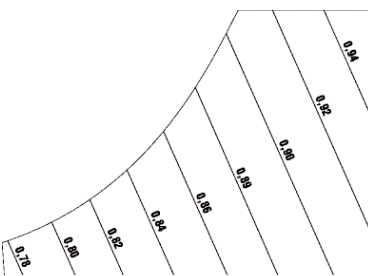
3. Las líneas de temperatura de bulbo seco se trazan verticalmente a intervalos de 1°C.



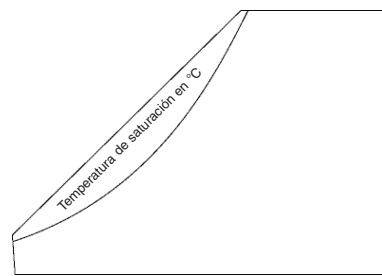
4. Las líneas de temperatura de bulbo húmedo se indican oblicuamente y caen casi paralelas a las líneas de entalpía. Se muestran a intervalos de 1°C.



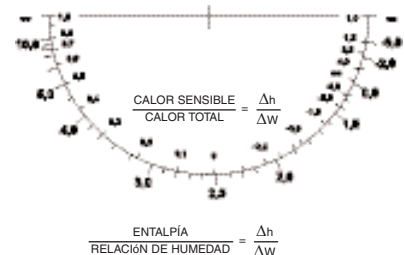
5. Las líneas de humedad relativa se curvan en el gráfico desde la izquierda hasta la derecha a intervalos del 10%. Empiezan en la parte inferior en el 10% y terminan en la superior con la curva de saturación (100%).



6. Las líneas de volumen que indican metro cúbico por kilogramo de aire seco se trazan a intervalos de 0,01 m³.



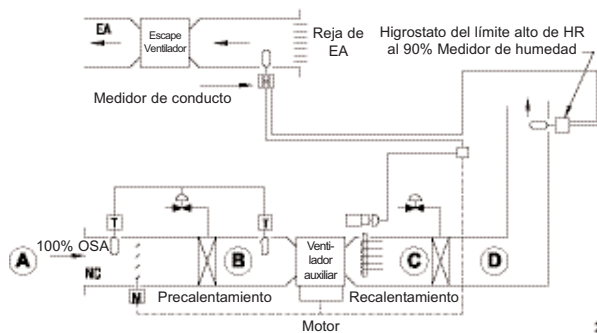
7. La región de dos fases incluye un área estrecha y rayada a la izquierda de la región de saturación que indica una mezcla de agua condensada en equilibrio.



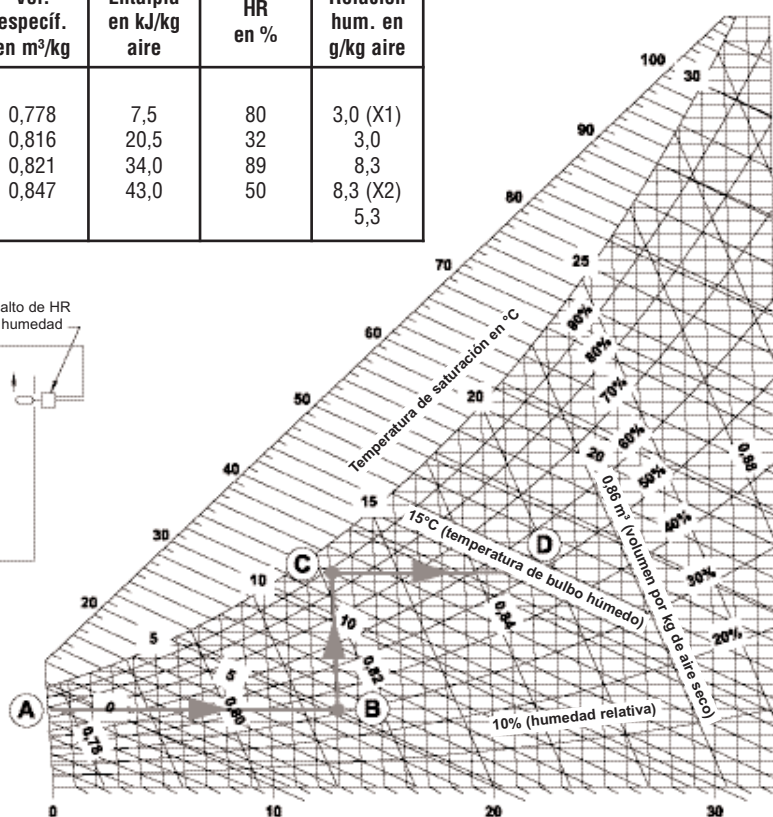
8. El semicírculo graduado en la parte superior izquierda del gráfico contiene dos escalas. Una es para la relación de diferencia de entalpía. La otra es para la relación de calor sensible respecto al calor total. El semicírculo graduado establece el ángulo de una línea en el gráfico junto a la cual se seguirá un proceso.

Tabla15-1. Sistema 1

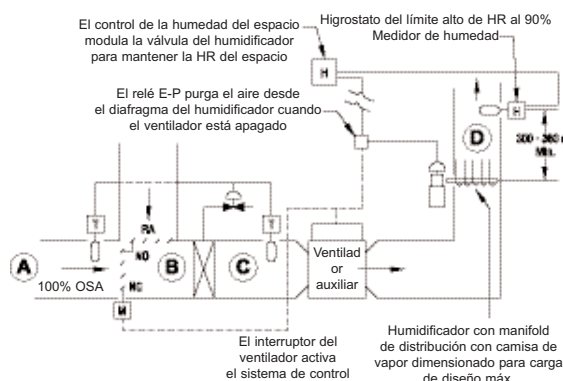
	T bulbo seco en °C	T bulbo húmedo en °C	Vol. especif. en m³/kg	Entalpía en kJ/kg aire	HR en %	Relación hum. en g/kg aire
100% aire exterior						
A Condiciones exteriores	0	-1,2	0,778	7,5	80	3,0 (X1)
B Precaentamiento	13	6,0	0,816	20,5	32	3,0
C Humidificación con vapor	13	12,0	0,821	34,0	89	8,3
D Recalentamiento (final)	22	15,4	0,847	43,0	50	8,3 (X2)
ΔX (X2-X1)						5,3


Glosario de símbolos

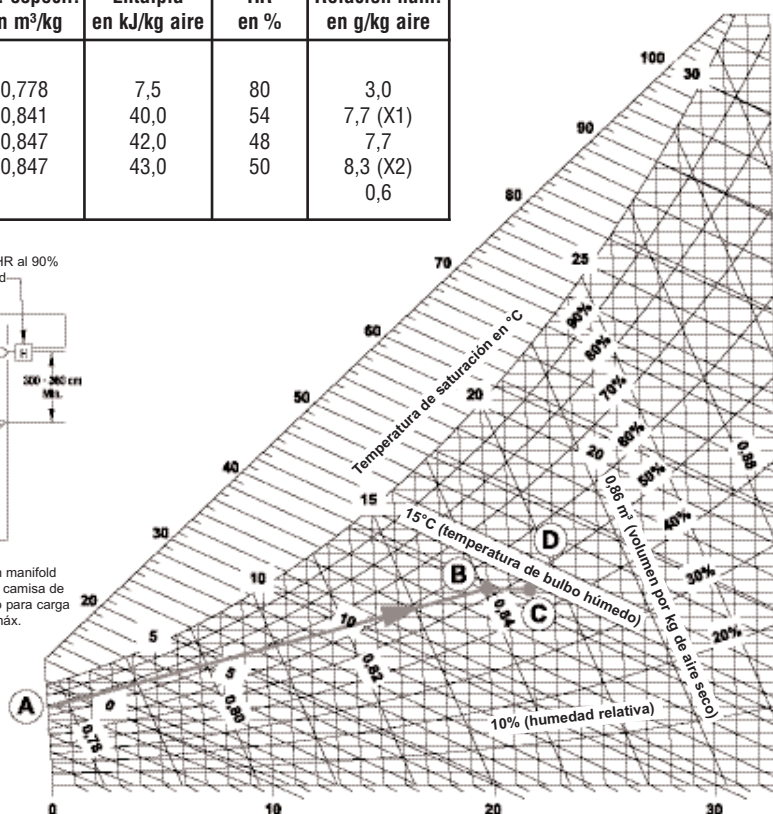
EA.....Salida de aire	NC.....Normalmente cerrado
Relé E-P.....Relé electro neumático	NO.....Normalmente abierto
H.....Medidor de humedad	OSA.....Aire del exterior
M.....Motor de la rejilla	RA.....Aire de retorno
MA.....Aire mezclado	T.....Medidor de la temperatura


Tabla15-2. Sistema 2

	T bulbo seco en °C	T bulbo húmedo en °C	Vol. especif. en m³/kg	Entalpía en kJ/kg aire	HR en %	Relación hum. en g/kg aire
90% aire recirculado						
A Condiciones exteriores	0	-1,2	0,778	7,5	80	3,0
B Condiciones mixtas	20	14,3	0,841	40,0	54	7,7 (X1)
C Recalentamiento	22	15,0	0,847	42,0	48	7,7
D Humidificación	22	15,4	0,847	43,0	50	8,3 (X2)
ΔX (X2-X1)						0,6

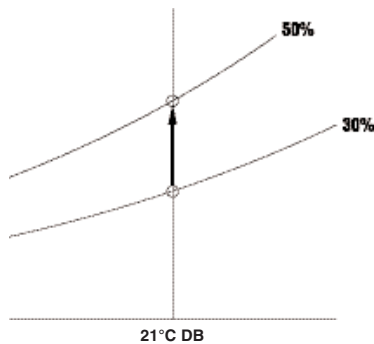

Glosario de símbolos

EA.....Salida de aire	NC.....Normalmente cerrado
Relé E-P.....Relé electro neumático	NO.....Normalmente abierto
H.....Medidor de humedad	OSA.....Aire del exterior
M.....Motor de la rejilla	RA.....Aire de retorno
MA.....Aire mezclado	T.....Medidor de la temperatura



Humidificación por vapor (isotérmica)

A diferencia de otros métodos de humidificación, los humidificadores de vapor tienen un efecto mínimo en las temperaturas de bulbo seco (DB). El humidificador de vapor descarga vapor de agua normalizado. Este vapor de agua no necesita calor adicional porque se mezcla con el aire e incrementa la humedad relativa. El vapor es vapor de agua puro a 100°C. Esta alta temperatura crea una percepción de que el vapor, cuando se descarga en el aire, incrementará realmente la temperatura del aire. Es un concepto erróneo bastante común. En realidad, cuando el humidificador descarga el vapor en el aire, se establece una mezcla aire/vapor. En esta mezcla, la temperatura del vapor disminuye rápidamente hasta la temperatura del aire.



El gráfico psicrométrico ayuda a ilustrar que la humidificación por vapor es un proceso de DB constante. Empezando por un punto de cualquier línea de temperatura de DB, la humidificación por vapor causará un movimiento hacia arriba a lo largo de la línea de DB constante. El ejemplo ilustra que la DB de 21°C es constante a medida que incrementamos la HR desde 30% - 50%. Esto es cierto porque el vapor contiene el calor necesario (entalpía) para añadir humedad sin incrementar o disminuir la temperatura de DB. Los resultados reales que utilizan vapor a alta presión o grandes aumentos de la HR (más del 50%) incrementan la DB de 0,5° a 1°C. Como resultado, no se produce una carga adicional de calefacción o aire acondicionado.

Humidificadores de inyección de vapor directa

La forma más común de humidificador de vapor es el tipo de inyección directa de vapor. Desde el punto de vista del mantenimiento, los sistemas de humidificación de vapor directo requieren poca atención. El propio suministro de vapor actúa como agente de limpieza para mantener los componentes libres de depósitos minerales que podrían obstruir muchas formas de sistemas de aerosoles de agua y depósitos de evaporación.

La respuesta al control y el control de precisión de la salida son otras dos ventajas del método de humidificación por vapor directo. Como el vapor es vapor de agua normalizado, sólo necesita mezclarse con aire para satisfacer las demandas del sistema. Además, los humidificadores de vapor directo pueden medir la salida mediante una válvula reguladora de modulación. A medida que el sistema responde al control, puede situar la válvula en cualquier punto desde cerrada a completamente abierta. Como resultado, los humidificadores de vapor directo pueden responder más deprisa y con más precisión a la demanda fluctuante.

Las altas temperaturas inherentes a la humidificación por vapor lo convierten en un medio prácticamente estéril. Suponiendo que el agua de relleno de la caldera sea de buena calidad y que no haya condensación, pequeñas fugas o salpicaduras en los conductos, no se diseminan olores o bacterias con la humidificación por vapor.

La corrosión es un problema poco frecuente con un sistema de vapor instalado correctamente. La calcificación y los sedimentos (formados en la unidad o arrastrados con el vapor suministrado) se drenan del humidificador a través de purgador de vapor.

Humidificadores de vapor a vapor

Los humidificadores de vapor a vapor utilizan un intercambiador de calor y el calor del vapor tratado para crear un vapor secundario para la humidificación a partir de agua sin tratar. El vapor secundario está normalmente a presión atmosférica, dando cada vez más importancia a la ubicación del equipo.

El mantenimiento de los humidificadores de vapor a vapor varía en función de la calidad del agua. Las impurezas, como el calcio, el magnesio y el hierro, pueden formar depósitos de cal que requieren una limpieza frecuente. La respuesta al control es más lenta que con el vapor directo debido al tiempo que se necesita para hervir el agua.

Humidificación por vapor directo

Figura 16-1. Tipo de separador

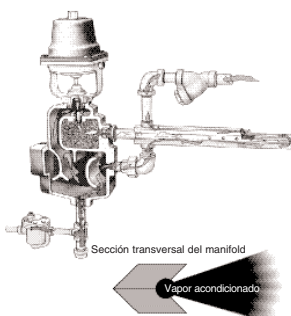
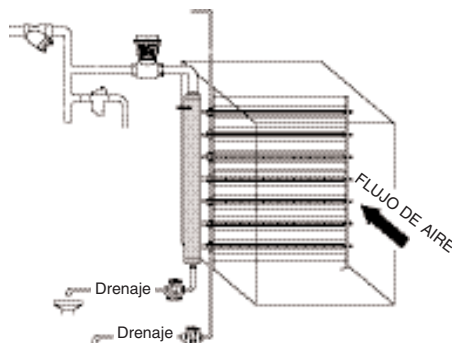
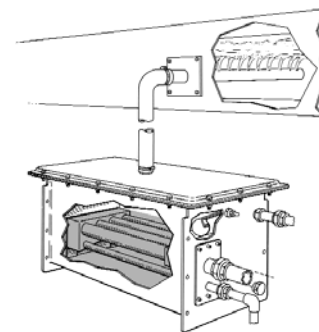


Figura 16-2. Tipo de panel



Humidificación de vapor a vapor

Figura 16-3.



Humidificadores de vapor eléctricos (electrodo)

Los humidificadores de vapor eléctricos se utilizan cuando no se dispone de una fuente de vapor. La electricidad y el agua crean vapor a presión atmosférica. Las unidades de tipo electrodo pasan corriente eléctrica a través del agua para ofrecer una salida proporcional. El uso con agua desmineralizada, desionizada o destilada generalmente no ofrece suficiente conductividad para las unidades de electrodo.

La calidad del agua afecta al funcionamiento y el mantenimiento de los humidificadores de tipo electrodo. El uso con agua dura exige una limpieza más frecuente, y el agua pura ablandada puede acortar la vida del electrodo. El diagnóstico basado en microprocesador ayuda en la solución de problemas.

Las unidades de electrodo se adaptan fácilmente a distintas señales de control y ofrecen una salida completa modulada. No obstante, la necesidad de hervir el agua significa que el control no comparará con las unidades de inyección directa.

Humidificadores de vapor eléctricos (resistencia)

Este tipo de humidificadores normalmente utiliza una resistencia sumergida que calienta los elementos para hervir el agua. Como la corriente no pasa por el agua, la conductividad no es un problema. La tecnología de lecho iónico hace que el humidificador sea lo suficientemente versátil como para acomodar distintas calidades de agua. Estas unidades trabajan con cartuchos de lecho iónico que contienen medios fibrosos para atraer a los sólidos del agua a medida que aumenta la temperatura, y minimiza la acumulación de sólidos dentro del humidificador. La calidad del agua no afecta al funcionamiento, y el mantenimiento normalmente consiste en la sencilla sustitución de los cartuchos.

Los humidificadores de lecho iónico se adaptan a diferentes señales de control y ofrecen una salida completa modulada. El control se ve afectado por la necesidad de hervir el agua.

Humidificadores de vapor calentados por gas

En los humidificadores calentados por gas, el gas natural o el propano se combinan con aire de combustión y se suministran a un quemador de gas. El calor de la combustión se transfiere al agua a través de un intercambiador de calor, y se crea vapor atmosférico para la humidificación. Los gases de combustión deben expulsarse según los códigos aplicables. La composición del gas, la calidad del aire de combustión y la ventilación adecuada pueden afectar al funcionamiento.

La calidad del agua también puede tener un impacto en el funcionamiento y el mantenimiento de los humidificadores calentados por gas. Los humidificadores calentados por gas del tipo lecho iónico utilizan cartuchos de lecho iónico que contienen medios fibrosos para atraer a los sólidos del agua a medida que aumenta la temperatura, y minimiza la acumulación de sólidos dentro del humidificador. Por lo tanto, la calidad del agua no afecta al funcionamiento, y el mantenimiento normalmente consiste en la sencilla sustitución de los cartuchos de lecho iónico.

Los humidificadores calentados por gas de lecho iónico se adaptan a varias señales de control y ofrecen una salida modulada. No obstante, el control de la HR de la sala se ve afectada por la necesidad de hervir el agua y las limitaciones inherentes a la tecnología de válvula de gas y purgador.

Sistemas de condensación (adiabáticos)

Los sistemas de condensación utilizan aire comprimido para atomizar agua y crear una corriente de partículas de agua microscópica que parecen una niebla. Para poder convertirse en vapor, el agua necesita aproximadamente 2 300 kJ por kilogramo. Las partículas de agua cambian rápidamente de líquido a gas al absorber el calor del aire circundante, o corriente de aire. Los sistemas de condensación diseñados correctamente incluyen suficiente calor en el aire para permitir que el agua se vaporice, lo cual evita que el agua "se marque" en las superficies y produzca problemas de control o problemas sanitarios.

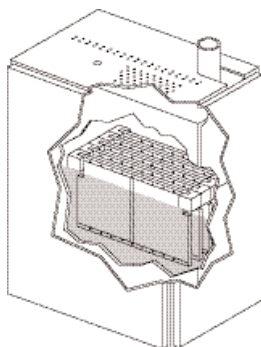
Los sistemas de condensación no contienen el calor de vaporización necesario para incrementar la HR a las condiciones deseadas. Por este motivo, la humidificación de los sistemas de condensación es un proceso virtualmente constante de entalpía. Como ilustra el ejemplo psicrométrico, la temperatura de DB cambia a medida que la HR se incrementa del 30% al 50%. Esta refrigeración por evaporación puede ofrecer beneficios energéticos para sistemas con cargas de calor interno altas.

A diferencia de muchos humidificadores adiabáticos, los sistemas de condensación diseñados correctamente pueden modular las presiones del aire comprimido y el agua para ofrecer una salida modulada. Aunque se necesitan tiempo y distancia (en un sistema de manipulación de aire) para la evaporación, la respuesta al control es inmediata. La alta eficacia de la evaporación garantiza el rendimiento máximo del sistema.

Se sugiere realizar un análisis del agua antes de aplicar sistemas de condensación donde no esté disponible ósmosis inversa (RO) o agua desionizada (DI).

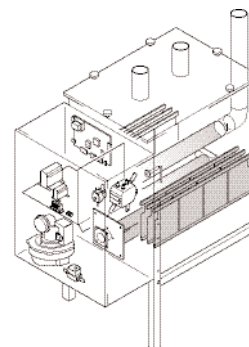
Humidificación de vapor eléctrica con lechos iónicos

Figura 17-1.



Calentados por gas con lechos iónicos

Figura 17-2.



Comparaciones de costes

Para evaluar adecuadamente los costes de selección de un sistema de humidificación, deberá incluir los costes de la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento así como los costes iniciales. Los costes totales de humidificación son habitualmente muy inferiores a los de los sistemas de calefacción o refrigeración.

Los costes iniciales, naturalmente, varían según el tamaño de las unidades. Con el precio basado en la capacidad, las unidades de mayor capacidad son las más económicas, independientemente del tipo de humidificador, es decir: Un humidificador capaz de ofrecer 500 kilogramos de humidificación por hora cuesta menos que dos unidades de 250 kg/h del mismo tipo.

Los humidificadores de vapor directo ofrecerán la capacidad más alta por primer euro de coste; los sistemas de condensación y los humidificadores calentados por gas son los menos económicos (primer coste) suponiendo que la capacidad necesite 45 kg/h o más.

Los costes de instalación para los distintos tipos no se pueden formular con exactitud porque la proximidad del agua, el vapor y la electricidad con los humidificadores varía mucho entre las instalaciones. Los costes de funcionamiento son bajos para el vapor directo y un poco más altos para el vapor a vapor. Los sistemas de condensación y los calentados por gas (lecho iónico) también tienen unos costes de funcionamiento bajos. Los costes energéticos son más altos para los humidificadores eléctricos.

Los humidificadores de vapor tienen los costes de mantenimiento más bajos, seguidos por los sistemas de condensación. Los humidificadores eléctricos y los calentados por gas se han diseñado específicamente para minimizar el mantenimiento al tiempo que se adaptan a varias calidades de agua. Los costes de mantenimiento para otros tipos pueden variar mucho, en función de la calidad del agua y las aplicaciones.

Estas son las principales consideraciones para seleccionar un sistema de humidificación. La tabla 19-1, en la página 19 resume las capacidades de cada tipo de humidificador.

Figura 18-1.

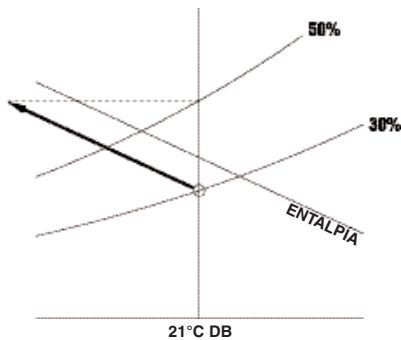
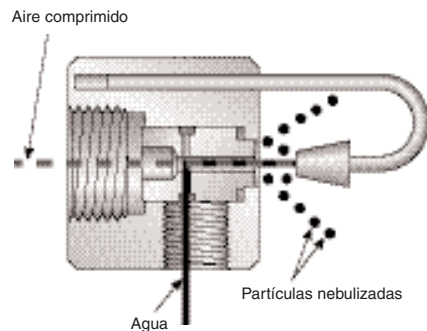
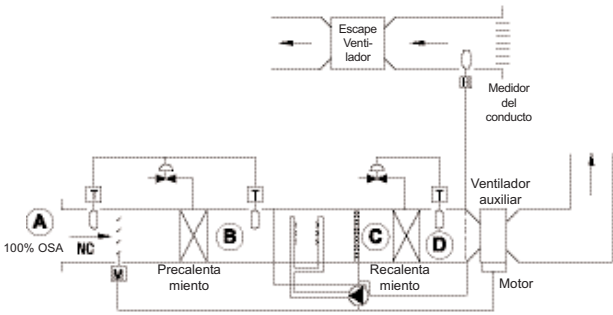


Figura 18-2. Cabezal condensador

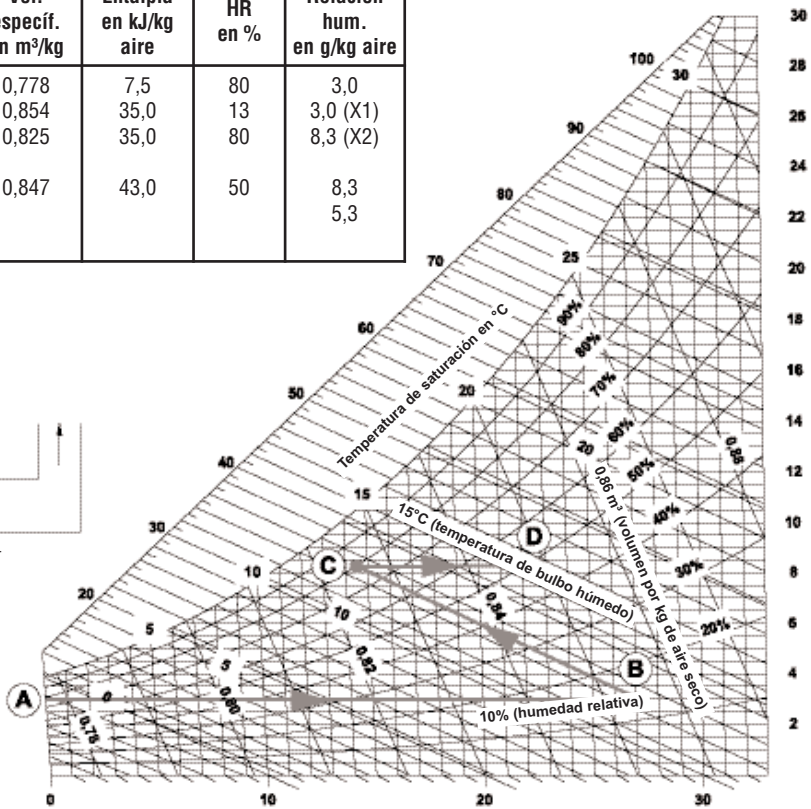


	T bulbo seco en °C	T bulbo húmedo en °C	Vol. especif. en m³/kg	Entalpía en kJ/kg aire	HR en %	Relación hum. en g/kg aire
A Condiciones exteriores	0	-1,2	0,778	7,5	80	3,0
B Precalentamiento	27,0	12,3	0,854	35,0	13	3,0 (X1)
C Humidificación con agua reciclada sin calentar*	14,5	12,3	0,825	35,0	80	8,3 (X2)
D Recalentamiento ΔX (X2-X1)	22,0	15,4	0,847	43,0	50	8,3 5,3

* suponiendo una eficacia del 80%



EA.....Salida de aire	NC.....Normalmente cerrado
Relé E-P.....Relé electropneumático	NO.....Normalmente abierto
H.....Medidor de humedad	OSA.....Aire del exterior
M.....Motor de la rejilla	RA.....Aire de retorno
MA.....Aire mezclado	T.....Medidor de la temperatura



Aplicaciones recomendadas

Vapor: Recomendado para prácticamente todas las aplicaciones comerciales, institucionales e industriales. Donde el vapor no esté disponible, la capacidad pequeña necesita hasta 90 kg/h que se pueden conseguir con unidades que generen vapor autónomo de tipo lecho iónico. Por encima de este rango de capacidad, los humidificadores de vapor de sistema central son más eficaces y económicos. El vapor debe especificarse con precaución en áreas pequeñas y cerradas para añadir grandes cantidades de humedad a materiales higroscópicos. Le recomendamos que consulte a su representante de Armstrong con relación a las aplicaciones donde se produzcan estas condiciones.

Sistemas de condensación: Los sistemas de aire comprimido/agua diseñados correctamente que se utilicen con ósmosis inversa (RO) o con una fuente de agua desionizada (DI), evitarán los problemas asociados con el saneamiento, el crecimiento de algas o bacterias, los olores o la calcificación. El beneficio energético potencial asociado con los sistemas de condensación debe examinarse para toda aplicación que requiera más de 230 kg/h allí donde no esté disponible el vapor, o donde la refrigeración por evaporación sea beneficiosa, como economizadores con área expuesta al aire o instalaciones con grandes cargas de calor interno.

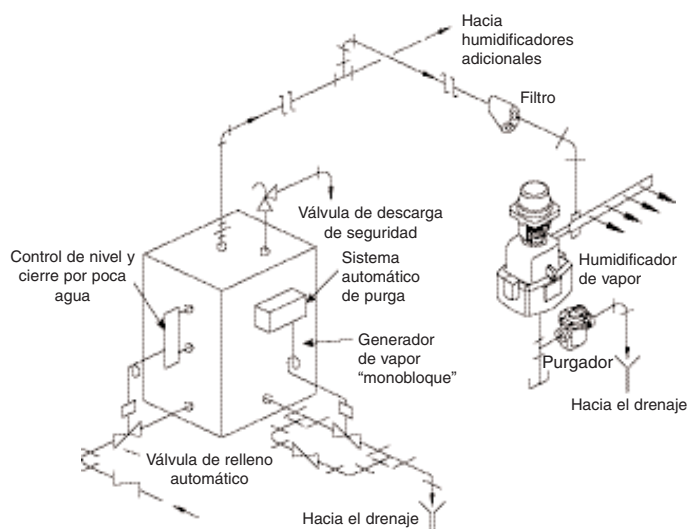
Resumen: Las pruebas apoyan la conclusión de que el vapor es el mejor medio natural para la humidificación. Ofrece vapor normalizado producido en el evaporador más eficaz posible, la caldera. No se depositan polvos minerales y, como no hay humedad líquida presente, el vapor no crea problemas sanitarios, no colabora al crecimiento de algas o bacterias, no huele y no crea corrosión o calcificación mineral residual.

Con estas ventajas en mente, los ingenieros especifican calderas y generadores de vapor exclusivamente para la humidificación cuando el edificio que se tiene que humidificar no dispone de suministro de vapor. La carga de humidificación mínima, donde es económicamente factible, cae en el rango de los 90 kg/h. La capacidad del generador de vapor normalmente se especifica en un 50% superior a la carga de humidificación máxima, en función de la cantidad de tuberías y el número de humidificadores y manifolds de distribución que deben calentarse. Las tuberías habitualmente necesarias para las instalaciones de humidificador de caldera se muestran en la figura 19-1.

Tabla 19-1. Comparación de métodos de humidificación

	Vapor directo	De vapor a vapor	Vapor eléctrico	Lecho iónico Vapor eléctrico	Lecho iónico Vapor calentado por gas	Sistemas de condensación
Efecto en la temperatura	Prácticamente no cambia					Caída significativa de la temperatura
Capacidad de la unidad según tamaño de la unidad	De pequeña a muy grande	Pequeña	De pequeña a media	De pequeña a media	De pequeña a media	De pequeña a muy grande
Calidad del vapor	Excelente	Buena	Buena	Buena	Buena	Media
Respuesta al control	Inmediata	Lenta	Buena	Buena	Buena	Inmediata
Control de la salida	De bueno a excelente	Por debajo de la media	Media	Media	Por debajo de la media	De bueno a excelente
Saneamiento/corrosión	Medio estéril; sin corrosión	Posible presencia de bacterias	Programado para no favorecer a las bacterias	Programado para no favorecer a las bacterias	Programado para no favorecer a las bacterias	Diseñado para no favorecer a las bacterias
Frecuencia de mantenimiento	Anual	Mensual	De mensual a trimestral	De trimestral a bianual	Trimestral	Anual
Dificultad del mantenimiento	Baja	Alta	Media	Baja	Media	Baja
Costes: Precio (por unidad de capacidad)	Bajo	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio
Instalación	Varía según la disponibilidad del vapor, agua, gas, electricidad, etc.					
Funcionamiento	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Mantenimiento	Bajo	Alto	Alto	De bajo a medio	De bajo a medio	Bajo

Figura 19-1. Tuberías habituales para la instalación de un humidificador de caldera



Directrices de diseño – Combinaciones caldera-humidificador

1. La capacidad bruta de salida de la caldera debe ser como mínimo 1,5 veces la carga total de humidificación.
2. Deben utilizarse ablandadores para el agua que alimenta la caldera.
3. El sistema de retorno del condensado no es necesario (a menos que lo requieran las circunstancias).
4. La presión de la caldera debe ser de 1 barg o inferior.
5. Un sistema automático de purga es recomendable.
6. Todas las tuberías de suministro de vapor deben estar aisladas.

Humidificadores eléctricos o calentados por gas

Cuando el vapor no está disponible, los humidificadores eléctricos o calentados por gas autónomos pueden cubrir las necesidades de baja capacidad. La consideración principal al seleccionar este tipo de humidificador es su capacidad para trabajar con rangos amplios de calidad de agua. Los humidificadores eléctricos o calentados por gas con lecho iónico se seleccionan con frecuencia por esta posibilidad.

Humidificadores de inyección de vapor directo

Una evaluación de tres características de rendimiento es esencial para comprender las ventajas que el vapor ofrece ante otros medios de humidificación:

- Acondicionamiento
- Control
- Distribución

El humidificador debe acondicionar el vapor para que quede completamente seco y libre de partículas. La respuesta a las señales de control debe ser inmediata y la modulación de la salida debe ser precisa. La distribución del vapor en el aire debe ser tan uniforme como sea posible. El rendimiento inadecuado en alguna de estas áreas significará que el humidificador no cumplirá con los requisitos básicos de humidificación.

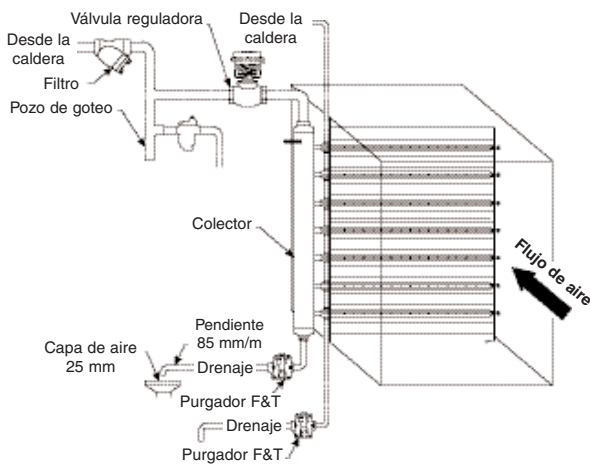
Los humidificadores de inyección de vapor directo están disponibles en tres tipos básicos: paneles de vapor diseñados especialmente, campanas de vapor y separador de vapor.

Los sistemas de panel de vapor diseñado especialmente incorporan ingeniería avanzada para crear aplicaciones exclusivas en las que la emisión del vapor es fundamental.

Los humidificadores de campana de vapor reciben el vapor por el lateral de la campana, que teóricamente permite que el condensado caiga por gravedad al purgador de vapor. No obstante, en la práctica una gran parte de la humedad líquida en el vapor va al flujo de aire, y el propio vapor se distribuye irregularmente.

El separador de vapor es un dispositivo más sofisticado que, si se diseña correctamente, cubre los criterios de rendimiento esenciales.

Figura 20-1. Humidificador de panel de vapor



NOTA: El condensado no se puede elevar o descargar en el retorno presurizado.

Figura 20-2. Humidificador de vapor de tipo campana

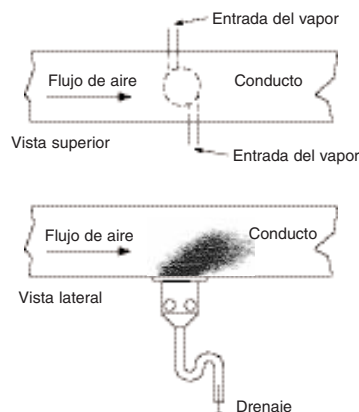
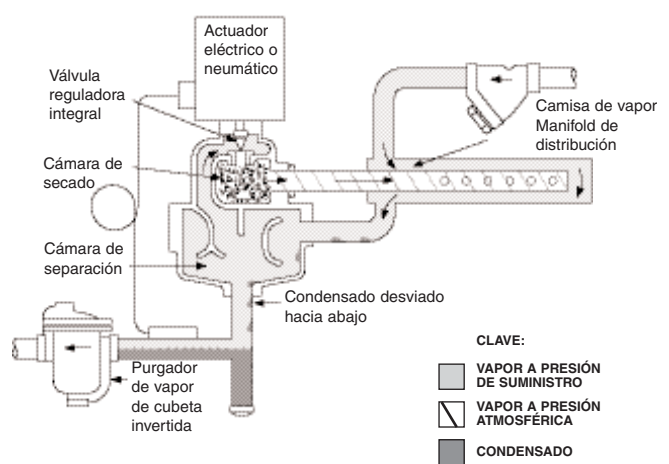


Figura 20-3. Humidificador de tipo separador de vapor



- CLAVE:
- VAPOR A PRESIÓN DE SUMINISTRO
 - ▨ VAPOR A PRESIÓN ATMOSFÉRICA
 - CONDENSADO

Acondicionamiento del vapor

A medida que el vapor se mueve por las líneas de suministro, la cal y los sedimentos pueden pasar al flujo. Un filtro de tipo Y se necesita para eliminar las partículas sólidas más grandes.

De manera similar, la condensación que se produce en las líneas de suministro permite que gotitas de agua o incluso agua condensada se transporte al humidificador.

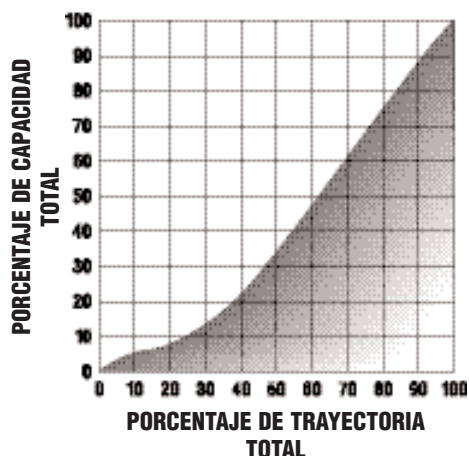
Se han de implantar varios pasos dentro del humidificador para que se evite eficazmente la descarga de humedad líquida y partículas más finas junto con el vapor de la humidificación.

La cámara de separación en el cuerpo del humidificador ofrece el volumen necesario para una reducción óptima de la velocidad y la máxima separación del vapor del condensado. Separado correctamente, el condensado transporta una parte sustancial de las micropartículas significativas con él para descargarlas a través del purgador de drenaje.

El vapor de la cámara de separación puede seguir transportando líquido, que debe eliminarse. Los humidificadores equipados con una cámara de secado interior con camisa de vapor en la cámara de separación pueden reevaporar con eficacia las gotitas de agua restantes antes de que el vapor se descargue. De manera similar, la válvula reguladora debe formar parte integral del humidificador. Tanto el humidificador como la tubería de distribución deben incorporar una camisa de vapor a la presión y temperatura de suministro para evitar que la condensación en forma de vapor se descargue.

Sólo el diseño correcto del humidificador para acondicionar el vapor puede garantizar los niveles esenciales de higiene y una atmósfera limpia. Estas directrices contribuyen a unas condiciones de mejor confort y garantizan que el humidificador cumple los requisitos físicos fundamentales del sistema.

Gráfico 21-1. Curva lineal modificada característica deseable para las válvulas que se usan bajo control modulado. La modificación de las características lineales ofrece un control más preciso cuando los requisitos de capacidad son muy bajos y la válvula se ha desplazado del asiento.



Control de la salida

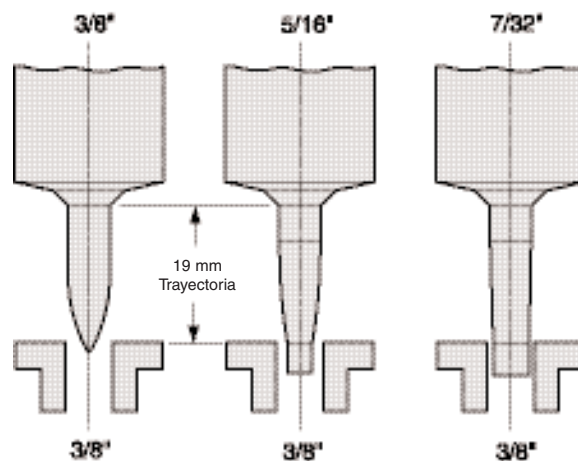
En la mayoría de aplicaciones, los humidificadores funcionan consistentemente a una fracción de su salida máxima.

El control del humidificador debe ofrecer respuesta inmediata y modulación precisa para mantener correctamente la humedad relativa necesaria. Un control defectuoso puede dificultar que se ofrezca el nivel deseado de humedad y puede llevar a la sobrecarga de los conductos con humedad y a la creación de manchas de humedad.

Dos factores del diseño afectan a la precisión del control que puede conseguir el humidificador: la válvula de regulación y el actuador que opera la válvula.

El control preciso del flujo se puede conseguir con una válvula diseñada expresamente para este propósito de añadir vapor al aire. Las válvulas de vástago parabólico se han considerado como las mejores para este servicio. Estas válvulas permiten una trayectoria más larga en comparación con las industriales, y el vástago normalmente sitúa en el orificio incluso con la válvula en la posición "completamente abierta". Esto facilita una modulación completa y precisa del flujo en toda la trayectoria de la válvula.

Figura 21-1. válvula de regulación de vástago parabólico



La válvula reguladora

El diseño del vástago parabólico también ofrece un rango excepcionalmente amplio. Este rango es la relación entre el flujo máximo controlable y el flujo mínimo controlable del vapor a través de la válvula. Cuanto más alto sea el rango de una válvula, con más precisión podrá controlar el flujo de vapor. Los rangos de las válvulas de vástago parabólico que se utilizan en los humidificadores de la serie 9000 de Armstrong y se muestran en la tabla 22-1 son los típicos que se pueden conseguir con este tipo de válvula.

El actuador es otro componente importante en el control de la humedad. Hay varios tipos disponibles para ofrecer compatibilidad con distintos tipos de sistemas. El actuador debe ser capaz de situar la válvula en una relación casi idéntica con el asiento tanto en la trayectoria de apertura como en la de cierre. Esto es esencial para ofrecer una medición coherente y exacta del vapor que descarga el humidificador.

Por su diseño, los actuadores de modulación con motor eléctrico ofrecen las características de posicionamiento lineal auténtico en los dos ciclos de apertura y cierre. Los actuadores neumáticos pueden o pueden no ofrecer el posicionamiento preciso y las características de retención esenciales para un control correcto. Se recomiendan los actuadores neumáticos del tipo diafragma móvil, siempre que cumplan los criterios siguientes:

1. Área del diafragma grande – 72 cm² o más – para ofrecer una amplia fuerza de elevación. Esto permite el uso de un muelle lo bastante fuerte como para estabilizar tanto el efecto de histéresis como el efecto de la velocidad de flujo en el posicionamiento del vástago de la válvula frente a la presión del aire respecto al actuador.
2. Material del diafragma muy resistente al desgaste o al debilitamiento por el continuo paso por ciclos.
3. Trayectoria del actuador lo bastante larga (de acuerdo con el vástago de la válvula y el diseño del asiento) para ofrecer relaciones de rango altas.

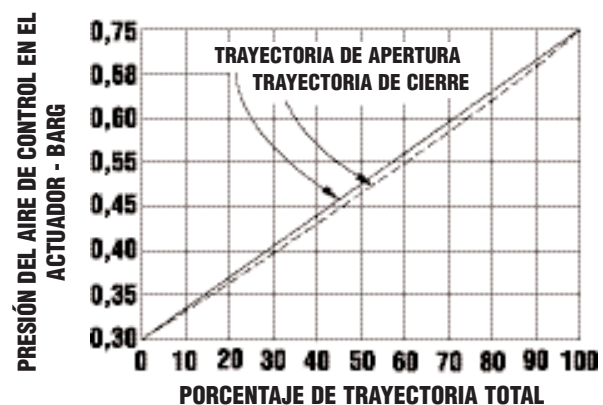
Todos los actuadores de modulación, sean eléctricos o neumáticos, deben incorporar un retorno de muelle. Esto es necesario para garantizar el cierre de la válvula si se produce una interrupción de la alimentación o del aire de control en la unidad.

Para el funcionamiento industrial en fábrica y para aplicaciones de conducto muy limitadas, se utilizará un actuador solenoide para ofrecer una operación sencilla de activado-desactivado. Este tipo de actuador no se especificará para aplicaciones de conducto sin realizar un análisis detallado del sistema.

Tabla 22-1. Rangos de la válvula del humidificador de vapor		
Tamaño de la válvula	Rangos	
	Relación del flujo Máx:Mín	Flujo mínimo como % del máximo
1 1/2"	63:1	1,6
1 1/4"	69:1	1,4
1 1/8"	61:1	1,6
1"	53:1	1,9
7/8"	44:1	2,3
3/4"	33:1	3,0
5/8"	123:1	0,8
9/16"	105:1	0,9
1/2"	97:1	1,0
15/32"	85:1	1,2
7/16"	75:1	1,3
13/32"	64:1	1,6
3/8"	70:1	1,4
11/32"	59:1	1,7
5/16"	49:1	2,0
9/32"	40:1	2,5
1/4"	31:1	3,2
7/32"	24:1	4,2
3/16"	18:1	5,6
5/32"	59:1	1,7
1/8"	37:1	2,7
7/64"	28:1	3,5
3/32"	21:1	4,8
5/64"	15:1	6,9
1/16"	10:1	10,0

Gráfico 22-1. Características de funcionamiento deseables para los actuadores neumáticos

La posición de la válvula es casi idéntica en las dos trayectorias de apertura y cierre a una presión del aire dada respecto al actuador.



Distribución del vapor

El tercer factor esencial en el diseño adecuado del humidificador es la distribución. El vapor debe descargarse tan uniformemente como sea posible en el aire, para permitir la absorción más rápida posible sin crear manchas húmedas o zonas saturadas.

En los conductos normales, un solo manifold de distribución instalado en la dimensión larga ofrecerá una buena distribución del vapor. En los conductos grandes o en cámaras impelentes, quizá sea necesario ensanchar el patrón de descarga del vapor para lograr la distribución requerida y que, de este modo, se necesiten manifolds múltiples desde humidificadores unitarios o múltiples.

La humidificación para áreas industriales sin sistemas centrales de manipulación de aire, normalmente se consigue con humidificadores unitarios que descargan el vapor directamente en la atmósfera. La mezcla correcta de vapor y aire se puede conseguir de dos maneras. Se puede montar un ventilador dispersor en el humidificador o se puede situar un calentador unitario para absorber y distribuir el vapor de agua.

Figura 23-2. Manifold unitario de distribución en un conducto normal

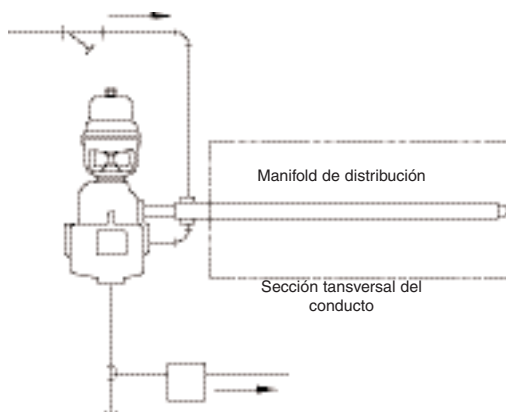


Figura 23-1. Humidificador unitario para descarga directa en área humidificada

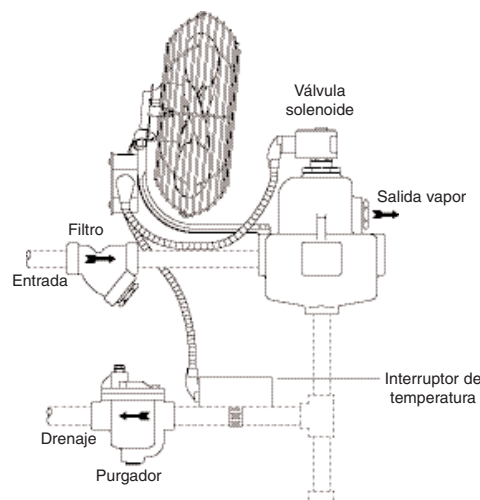
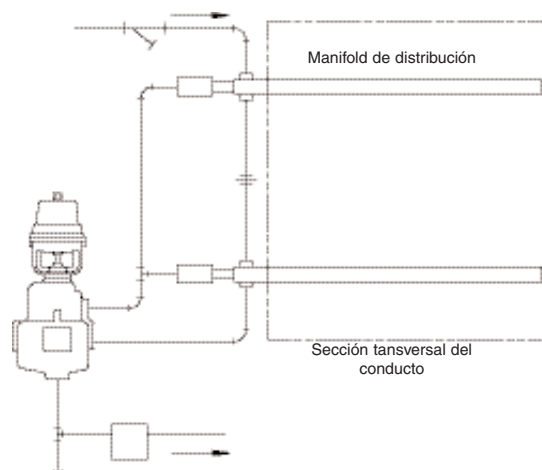


Figura 23-3. Manifolds múltiples de distribución en un conducto o bastidor grande

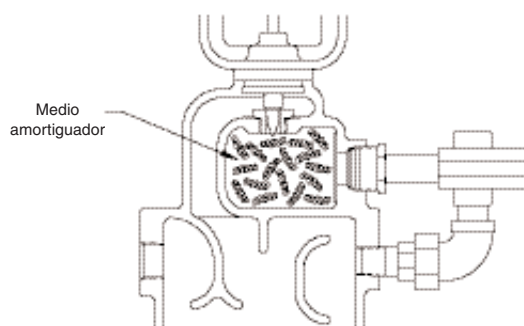


Nota: Consulte en la página 26 las conexiones de manifold múltiple.

Ruido de funcionamiento

Además de estas características fundamentales de funcionamiento, también debe considerarse el ruido al seleccionar los humidificadores de vapor para áreas donde el funcionamiento silencioso es esencial o deseable, como hospitales, oficinas, escuelas, etc.

Figura 23-4. El ruido del vapor de salida se genera en la válvula reguladora. Para minimizar ese sonido, se incorporan materiales amortiguadores alrededor de la válvula.



Deben considerarse varios principios básicos en la aplicación del equipo de humidificación por vapor para asegurarse un funcionamiento correcto del sistema.

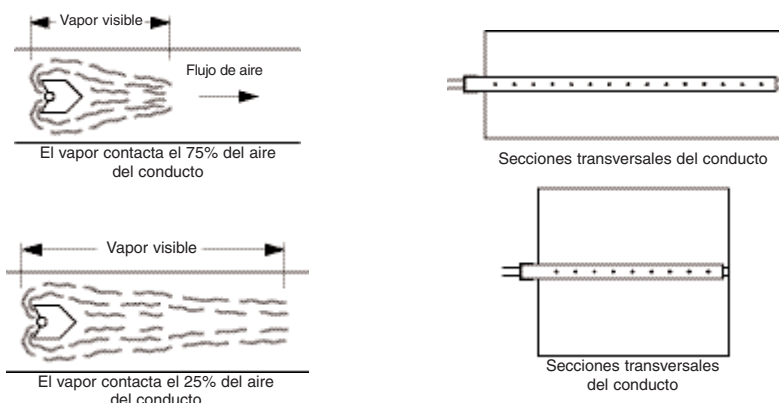
Una de estas consideraciones es la disipación del vapor en los conductos de aire. En el proceso de humidificación por vapor, el vapor de agua puro a 100°C se mezcla con el aire a una temperatura más baja. La mezcla de vapor caliente con aire más frío da como resultado una transferencia de calor. Siempre que se transfiere calor a partir de vapor, se produce la condensación. Esta condensación se denomina vapor visible. Cuando se descarga vapor desde un manifold a un conducto de aire, cambia rápidamente desde un gas invisible a partículas de agua visibles y, a continuación, se disipa para volverse invisible otra vez.

El vapor visible indica un área de supersaturación, donde el vapor-gas, invisible, se condensa en partículas de agua. Cuando se produce la condensación, el vapor-gas, libera su calor de vaporización (unos 2 320 kJ/kg de vapor) al aire del conducto. A continuación, mientras el vapor se mezcla completamente con el aire del conducto, el calor latente que previamente se ha expelido, se reabsorbe y el vapor visible se vuelve a convertir en gas invisible sin cambios esenciales en la temperatura de DB. (Véase la figura 24-2).

Obviamente, la disipación del vapor en los conductos de aire es muy importante para ubicar correctamente los medidores de temperatura o humedad. Un medidor, situado en o cerca de la emisión de vapor visible, producirá resultados inexactos debido a las bolsas de aire saturado. En las condiciones habituales del conducto, todos los medidores deben situarse como mínimo de 300 a 360 cm aguas abajo de un manifold. No obstante, las características del sistema siguientes afectarán a la emisión de vapor visible y, por lo tanto, deben considerarse al situar el medidor:

1. Relación entre el ancho y la altura del conducto. La relación entre la altura y la anchura del conducto es un factor que influye en la emisión del vapor visible. La figura 24-1 muestra dos conductos con iguales áreas transversales, pero con diferentes relaciones de altura y anchura. Velocidades del aire, temperaturas, HR y salida de vapor de los manifolds son todas idénticas. No obstante, en el conducto más alto el manifold es más corto y su salida de vapor entra en contacto con un porcentaje mucho más pequeño de aire del conducto y produce una emisión de vapor visible más larga.

Figura 24-1.



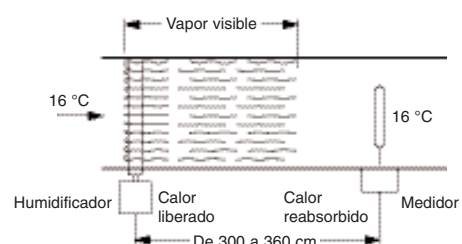
2. Temperatura del aire del conducto La temperatura del flujo de aire en el conducto también afecta a la longitud de la emisión de vapor visible. El aire más cálido produce una emisión de vapor más corta, como se muestra en la figura 25-2, página 25. Todas las demás condiciones son las mismas.

3. Manifolds aislados. Si bien es verdad que la humidificación es un proceso isotérmico, varios kJ de energía se transferirán a la corriente de aire cuando se utilicen manifolds con camisa de vapor. Normalmente esto resultará en un aumento de temperatura de 1°C. El uso de manifolds aislados con camisa de vapor reducirá esta transferencia de calor para las aplicaciones críticas de temperatura del aire.

Si los manifolds aislados no se pueden evitar, deberán tomarse consideraciones durante la instalación de dichos manifolds. Una instalación típica de un manifold con camisa de vapor requiere que el vapor se inyecte en la corriente de aire. **Si se utilizan manifolds aislados, tendrán que instalarse con el vapor que se inyecta con la corriente de aire.** Esto se hace para garantizar que la humedad no se acumula en las superficies frías de la camisa aislante. No obstante, cuando los manifolds se instalan de esta manera, se pierde la turbulencia añadida que causa el flujo de aire que viaja alrededor del manifold estándar con camisa de vapor, y el resultado es una emisión de vapor visible más larga. La figura 25-1 muestra la instalación correcta y los efectos en la emisión de vapor visible.

4. Velocidad del aire del conducto. A medida que se incrementa la velocidad del aire del conducto, también se incrementa la longitud de la emisión de vapor visible. La figura 25-4 muestra dos secciones de conductos de aire con velocidades de 2,5 m/s y 10 m/s respectivamente. Las demás condiciones son las mismas: temperatura, humedad del aire del conducto, dimensiones del conducto y la cantidad de vapor liberado de manifolds idénticos. La longitud de la emisión de vapor visible es aproximadamente proporcional a la velocidad del aire en el conducto.

Figura 24-2. Variaciones típicas de temperatura (sensible) de bulbo seco dentro de un conducto cerca del manifold del humidificador. Mientras el calor latente de la vaporización se libera, la temperatura aumenta (en o cerca del vapor visible, la temperatura puede aumentar de 1° a 2°C). No obstante, cuando el vapor visible se mezcla y se reevapora en el flujo de aire, el calor de la vaporización se reabsorbe y la temperatura del aire del conducto vuelve a su nivel anterior.



5. Número de manifolds en el conducto.

En una gran sección de conducto que necesite la capacidad de descarga de dos humidificadores, la mejor distribución de vapor se consigue con dos manifolds a través del conducto y separados verticalmente para dividir la sección del conducto en tercios. El mismo efecto se consigue con manifolds múltiples de distribución desde un humidificador unitario que tenga la capacidad adecuada para cumplir los requisitos. Cuando se distribuye una cantidad de vapor entre múltiples manifolds, la cantidad liberada a través de cada manifold es más pequeña, y más aire del conducto entra en contacto con el vapor. Este efecto se muestra en la figura 25-5.

6. HR del aire del conducto. La humedad relativa en el conducto también afecta al vapor visible. Cuanto más alta sea la descarga del humidificador aguas abajo de la humedad relativa, más larga será la emisión del vapor visible. Cuanto más cerca estén las condiciones del conducto de la saturación, más probable es que sea larga la emisión del vapor. Afortunadamente, la HR del aire del conducto se puede controlar con un higrostató como se muestra en la figura 27-2, página 27.

Como el uso de manifolds múltiples reduce la longitud del vapor visible, su uso debe considerarse siempre que se den algunas de las condiciones siguientes en la ubicación del humidificador:

- A. La temperatura del aire del conducto es inferior a 13°C o la humedad relativa está por encima de 80%.
- B. La velocidad del aire del conducto excede los 4 m/s.
- C. Los filtros "finales" o de "alta eficiencia" están situados 300 cm aguas abajo del humidificador.

- D. La altura de la sección del conducto excede los 900 mm.
- E. El vapor visible incide sobre bobinas, ventiladores, rejillas, filtros (no los finales), aspas giratorias, etc., situados aguas abajo del humidificador.

La figura 26-1 permite determinar el número de manifolds necesarios para conseguir la longitud de mezcla requerida. Por ejemplo:

- Temperatura del aire: 13°C
- HR: 80%
- Velocidad del aire: 2 m/s
- Longitud de mezcla requerida: 1 metro
- Carga de vapor: 300 kg/h
- Dimensiones AHU: 2 750 mm x 2 750 mm

El gráfico muestra que 0,3 metros de manifold deben descargar máximo 7,2 kg/h de vapor si se requiere 1 metro de longitud de mezcla. Esto significa que para mantener la longitud de mezcla a 1 metro, la longitud de dispersión total debe ser como mínimo: $(300 : 7,2) \cdot 0,3 = 12,5$ metros.

Si se consideran las dimensiones AHU, el manifold más grande que se puede instalar tendrá 2,7 metros de longitud. En ese caso, el número de manifolds será: $12,5 : 2,7 = 4,6 = 5$ manifolds.

Estos cálculos nos han permitido determinar que, en el ejemplo anterior, se necesitan 5 manifolds de 2,7 metros de longitud para descargar 300 kg de vapor y mezclarlo con el aire en 1 metro tras la ubicación del humidificador.

Figura 25-1. Manifold con camisa estándar

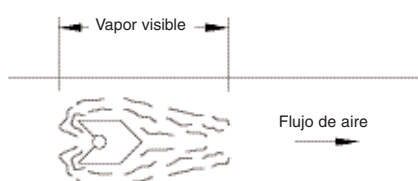


Figura 25-2. Manifold con camisa aislado

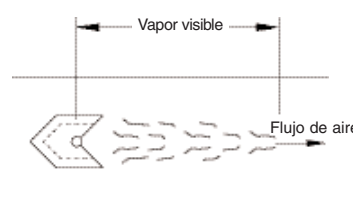


Figura 25-3.



Figura 25-4.

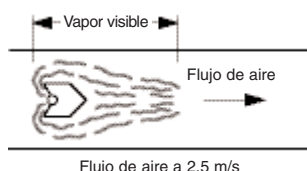
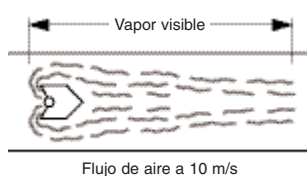
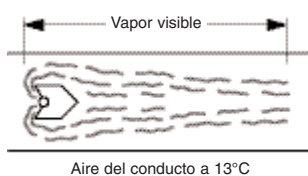
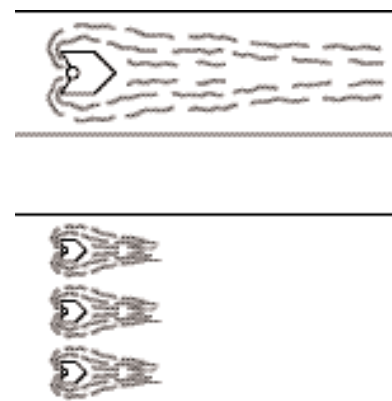


Figura 25-5.



La tabla 26-1 y la figura 26-2 muestran un número habitual de manifolds y el espaciado típico entre ellos cuando la altura del conducto excede los 900 mm.

Consulte a su representante de Armstrong o solicite el software de Armstrong Humid-A-ware Humidification Sizing and Selection [Selección y dimensionamiento de la humidificación] en www.armstrong.be para obtener las recomendaciones que se ajusten a sus necesidades.

La disposición de las tuberías para los humidificadores con manifolds múltiples varía según la ubicación de los manifolds.

Cuando todos los manifolds están situados por encima de la entrada del humidificador, la tubería del manifold debería instalarse como se muestra en la figura 26-3.

Cuando uno o más manifolds están situados por debajo de la entrada del humidificador, los manifolds deben purgarse por separado, como se muestra en la figura 26-4.

Los manifolds más pequeños, cuando sea posible usarlos, reducen el coste de las instalaciones de manifolds múltiples. Debe ponerse cuidado en que la capacidad del humidificador no exceda la capacidad combinada de los manifolds múltiples. La disposición de las tuberías se muestra en la figura 27-3, página 27.

7. El manifold del humidificador está demasiado cerca del filtro de alta eficacia. Muchos sistemas de manipulación de aire necesitan el uso de filtros de alta eficacia (también denominados "absolutos" o "finales"). Estos filtros eliminan hasta el 99,97% de todas las partículas de 0,3 micras de diámetro, y hasta el 100% de partículas más grandes. La importancia de estas calidades de filtrado se muestra en la tabla 26-2, en la que se comparan los tamaños de las partículas de sustancias habituales.

Figura 26-1.

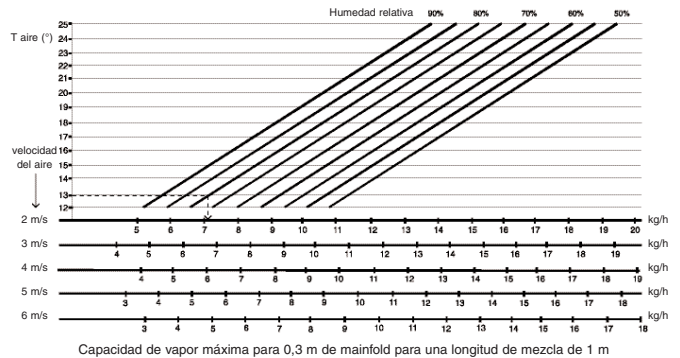


Figura 26-2.

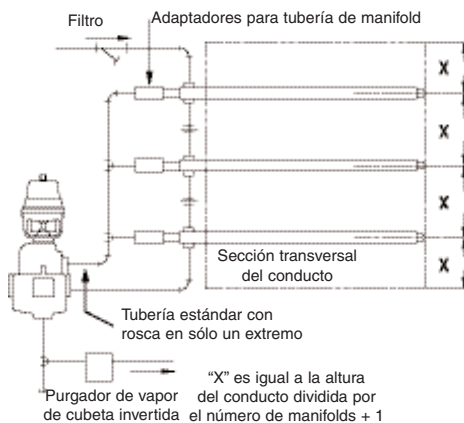


Figura 26-3.

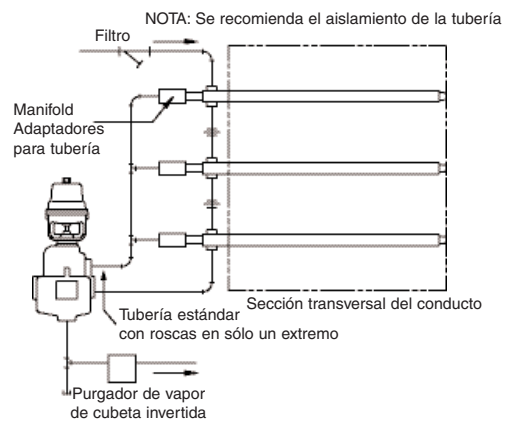
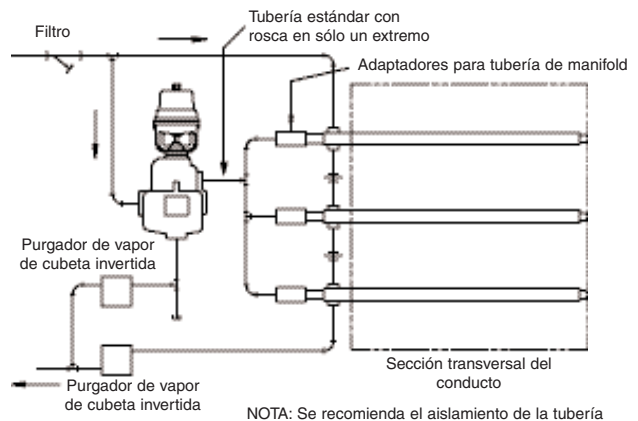


Figura 26-4.



Altura del conducto en la ubicación del humidificador en mm	N.º de manifolds que se van a instalar desde uno o más humidificadores
De 900 a 1 500	2
De 1 500 a 2 000	3
De 2 000 a 2 500	4
2 500 o más	5 o más

Material	Tamaño de la partícula en micras
Partículas visibles para el ojo humano	10 o más
Cabello humano	100
Polvo	De 1 a 100
Polen	De 20 a 50
Vaho (vapor visible)	De 2 a 40
Neblina (nebulizador de agua)	De 40 a 500
Humos industriales	De 0,1 a 1
Bacterias	De 0,3 a 10
Moléculas de gas (gas de agua)	0,0006

Como las partículas presentes en el vapor visible tienen de 2 a 40 micras, esas partículas quedan atrapadas en los filtros de alta eficacia. Algunos tipos de filtros absorben la humedad y se expanden, con lo que reducen el flujo de aire a través del material del filtro. Como resultado, la presión estática en el conducto aumenta desde lo normal (unos 25 mm, columna de agua o WC) hasta tan alto como 1 000 mm WC. Cuando el filtro absorbe humedad, también libera el calor latente del vapor condensado en el aire del conducto.

Cuando un manifold de humidificador se sitúa demasiado cerca de un filtro absoluto, el filtro recoge vapor de agua y evita que la humedad llegue al espacio que se tiene que humidificar. Si se coloca el manifold del humidificador más lejos, aguas arriba, se permite que el vapor de agua cambie en vapor-gas, que pasará sin obstáculos a través de un filtro absoluto.

En la mayoría de condiciones, el vapor de agua se dispersará correctamente si el manifold del humidificador se sitúa como mínimo a 300 cm por delante del filtro final. No obstante, si la temperatura del aire del conducto es baja, la velocidad del aire es alta o el conducto es alto, se pueden instalar manifolds múltiples para acelerar la mezcla del vapor con el aire del conducto. Para una protección adicional, se puede instalar un medidor de límite alto para el conducto justo por delante del filtro final para limitar la humedad máxima a aproximadamente el 90%. (Véase la figura 27-2).

Sistemas de panel de vapor diseñados especialmente

Para las aplicaciones con distancias de absorción aguas abajo especialmente limitadas, se pueden tomar en consideración los sistemas de ingeniería personalizada. El sistema incluye un separador/colector y un conjunto de tubo de dispersión múltiple completo con una válvula reguladora, filtro, purgador de goteo de suministro de vapor y uno o dos purgadores de goteo para el colector. Cada sistema se personaliza para ofrecer una distribución uniforme y una distancia de longitud de mezcla más corta aguas abajo. (Véase la figura 27-4).

Cómo acortan la distancia de longitud de mezcla los sistemas de panel de vapor

El vapor acondicionado entra en cada uno de los tubos de dispersión y fluye a través de las boquillas de vapor que se extienden desde el centro de cada tubo, antes de descargar a través de los orificios en la corriente de aire.

El flujo de aire primero encuentra los tubos reductores (véase la figura 27-1) que influyen en su patrón de flujo e incrementan su velocidad. El aire que viaja alrededor de cada conjunto de tubos reductores encuentra un flujo opuesto de vapor a alta velocidad que sale de los orificios. El resultado es una distribución más uniforme y una absorción más rápida de la humedad en el aire, que da como resultado un requisito de distancia de longitud de mezcla más corto que el que se obtiene con los manifolds tradicionales o con los tubos de dispersión.

Figura 27-1.

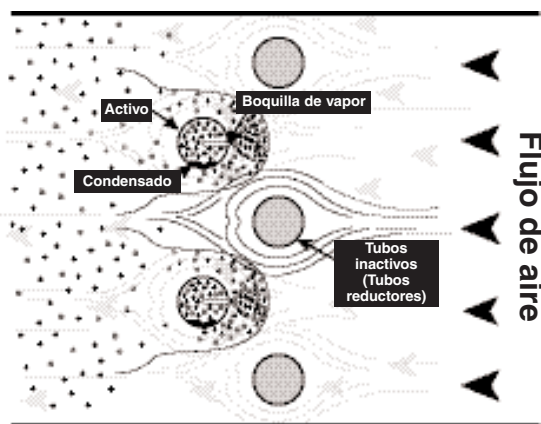


Figura 27-3.

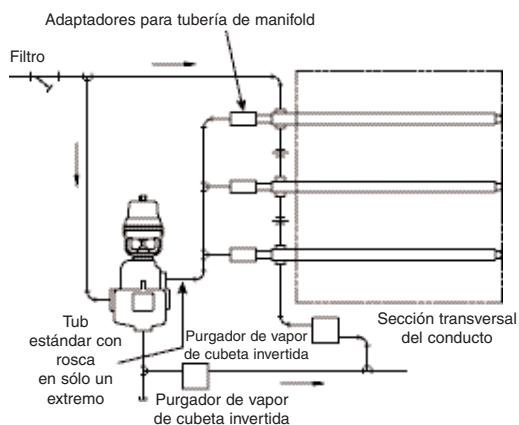


Figura 27-2.

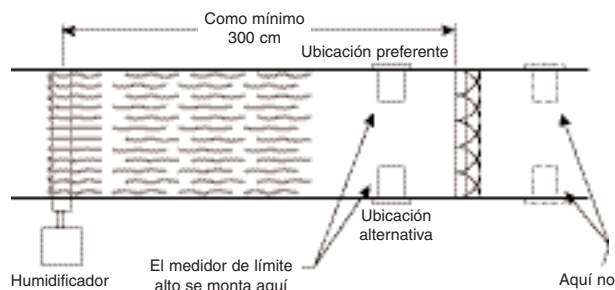
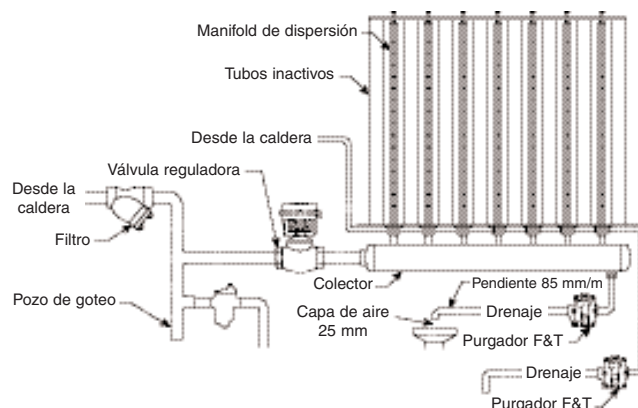


Figura 27-4. Sistema de panel de vapor



NOTA: el condensado no se puede elevar o descargar en el retorno presurizado.

Consideraciones psicrométricas en los sistemas de conductos

En la práctica encontrará que hay áreas que necesitan humidificación pero que no se pueden humidificar satisfactoriamente a través del sistema central de manipulación de aire. A menudo se trata de áreas que tienen cargas altas de calor sensible que deben equilibrarse con el aire del conducto a bajas temperaturas para mantener las condiciones de temperatura de diseño de esa área. Los ejemplos típicos son salas de procesamiento de datos o quirófanos de hospital, en los que las temperaturas del aire del conducto pueden ser tan bajas como 10°C para mantener una condición de diseño de 24°C en la sala. Estas bajas temperaturas impiden la adición de la suficiente humedad al aire para cumplir los requisitos de la HR del diseño en la sala, pongamos 55% de HR.

Tomando estas condiciones como ejemplo, el aire del conducto a 10°C y 90% de HR se necesitan menos de 6,86 g de humedad por kg de aire. A 24°C, los mismos 6,86 g de humedad producen una humedad relativa del 39%. Para lograr las condiciones del diseño de 55% de HR a 24°C, el aire debe contener 10,2 g de humedad por kg de aire – 3,34 g más que lo que puede llevar psicrométricamente a la temperatura del aire del conducto.

Para este tipo de aplicaciones, la humidificación reforzada debe conseguirse en el aire de la zona después de que haya alcanzado su temperatura final. Los humidificadores eléctricos autónomos se pueden usar para este propósito, aunque recomendamos el uso de unidades combinadas de ventilador-humidificador de vapor que se pueden instalar tanto dentro del espacio del humidificador o con conductos en remoto hacia ese espacio. Para las aplicaciones en hospital, las unidades de ventilador-humidificador de vapor deben incluir un filtro integral de alta eficacia (95%) para satisfacer los requisitos del código.

Determinación de las cargas de humidificación para los sistemas de manipulación de aire

La mayoría de los ingenieros prefieren determinar los requisitos de humidificación psicrométricamente a partir de las condiciones del diseño y los requisitos de humidificación. No obstante, a continuación se describen los métodos abreviados para hacer esos cálculos o para comprobar los cálculos psicrométricos.

Dimensionamiento de la humidificación principal

Al dimensionar humidificadores de conducto para sistemas de manipulación de aire, debe saber:

- El flujo de aire en m³/h.
- La temperatura del aire y la humedad relativa exterior del diseño.
- La temperatura y la humedad relativa interior requeridas.
- La presión de suministro del vapor del humidificador.

La fórmula para el cálculo de la carga es:

$$\text{Carga de humidificación en kg/h} = \frac{\text{m}^3/\text{h} \cdot \rho \cdot (X_2 - X_1)}{1\,000}$$

Donde:

- m³/h = flujo de aire sin humidificar a una condición de humedad R₁
- X₂ = contenido de humedad del aire acondicionado interior requerido en g/kg de aire
- X₁ = contenido de humedad del aire que se va a humidificar (desde la condición exterior) en g/kg de aire
- ρ = peso específico del aire en kg/m³ (a temperatura interior)

EJEMPLO, supongamos:

10 000 m³/h de aire exterior.
 Condiciones del aire exterior del diseño: -10°C a 80% HR
 Presión del vapor: 1 barg
 Se requieren 40% de HR a 24°C.
 Se utilizan controles de aire.

$$\text{Carga de humidificación en kg/h} = \frac{10\,000 \cdot 1,19 \cdot (7,42 - 1,28)}{1\,000} = 73 \text{ kg/h}$$

Un solo humidificador puede ofrecer esta capacidad, aunque puede ser necesario un control de secuencia para dos humidificadores y evitar la condensación del conducto en cargas muy ligeras. La longitud del manifold de distribución se rige por la anchura del conducto donde el humidificador se va a situar.

Dimensionamiento para humidificador reforzado

Supongamos que un humidificador principal proporcionará aire que tendrá 40% de HR a 21°C, pero quiere mantener el 60% de HR en un laboratorio suministrada con 1 500 m³/h del aire a 40% y 21°C.

$$\text{Carga de humidificación en kg/h} = \frac{1\,500 \cdot 1,2 \cdot (9,3 - 6,17)}{1\,000} = 5,63 \text{ kg/h}$$

Comparaciones de sala a conducto

Cuando se necesita una humedad alta en una sala (21°C - 60% HR) y la temperatura del conducto es inferior a la temperatura de la sala (10°C), el higrostató de límite alto del conducto actúa a menudo como el higrostató de control. Los higrostatos de límite alto del conducto deben establecerse entre el 70% y el 90% de HR. No recomendamos establecer el higrostató de límite alto por encima de 90% de HR. La tabla 28-4, página 28, muestra la humedad máxima de la sala que se puede conseguir para las condiciones del conducto dadas.

Tabla 28-4. HR máxima de la sala para las condiciones de conducto dadas

Temperatura del conducto °C	Humedad relativa del conducto (HR)	HR de la sala a temperatura °C			
		20°	21°	22°	24°
10	90%	47%	44%	41%	37%
	85%	44%	41%	39%	35%
	80%	42%	39%	36%	33%
13	90%	57%	53%	49%	44%
	85%	53%	50%	46%	42%
	80%	50%	47%	44%	39%
16	90%	68%	63%	59%	53%
	85%	64%	60%	56%	50%
	80%	60%	56%	52%	47%

Humid-A-ware™ puede simplificar la selección del humidificador

Armstrong ofrece un programa de software gratuito que puede eliminar la necesidad de cálculos con papel y lápiz que toman tanto tiempo. El software de Armstrong Humid-A-ware™ Humidification Sizing and Selection [Selección y dimensionamiento de la humidificación] se ejecuta en Microsoft® Windows® 9x y en Windows® 200x. Una vez este software fácil de usar esté cargado en su ordenador, el programa mostrará en pantalla una serie de preguntas muy fáciles de entender sobre su aplicación de humidificación. Responda a esas preguntas –a menudo con sólo una tecla– y Humid-A-ware™ podrá:

- Calcular la carga de humidificación.
- Determinar el número de modelo de humidificador correcto.
- Crear y personalizar el equipo y la planificación de los datos.
- Indicar las propiedades psicrométricas del aire.
- Calcular la distancia de longitud de la mezcla.
- Imprimir la especificación de la aplicación de humidificación completa.

Puede solicitar una copia gratis del software Humid-A-ware™ Humidification Sizing and Selection [Selección y dimensionamiento de la humidificación], con catálogo y dibujos disponibles como archivos PDF, poniéndose en contacto con su representante local de Armstrong. O visite www.armstrong.be para obtener información completa sobre humidificación.



Ciclos del economizador

Los sistemas de aire con bobina de ventilador, que mezclan el aire de retorno y el aire del exterior en distintas cantidades para obtener una temperatura final dada del aire mezclado, requieren una consideración especial para determinar las cargas de humidificación máximas.

Los sistemas de este tipo normalmente utilizan una cantidad mínima fija de aire exterior (aproximadamente el 10%-30%) cuando la temperatura del aire exterior está a un diseño máximo (-23°C). A medida que la temperatura del aire exterior aumenta, se mezcla más aire exterior con el aire de retorno para lograr una temperatura final del aire mezclado (13°C). Como la carga de humidificación es una función de la carga de aire exterior introducida (más su contenido de humedad), el máximo requisito de humidificación se producirá a determinada temperatura del aire exterior en lugar de a la de diseño máxima.

Condiciones

Las tablas 30-1 y 30-3 a continuación ofrecen el porcentaje de aire exterior que se necesita para mantener la temperatura de aire mezclado deseada cuando la temperatura del aire exterior es como se muestra. La tabla 30-1 se utiliza cuando la temperatura del aire de retorno (aire ambiente) está a 21°C. La tabla 30-3 es para sistemas de retorno de aire a 24°C.

Las tablas 30-2 y 30-4 se pueden usar para determinar la carga de humidificación máxima a las condiciones dadas de temperatura de aire mezclado y HR requerida, suponiendo un 40% de HR OSA y un 10% mínimo de OSA.

NOTA: También deben considerarse las condiciones de sobresaturación en sistemas de temperaturas más bajas.

EJEMPLO

Se dan unas condiciones en que una temperatura de 21°C de aire de retorno se mezcla con aire exterior para producir una temperatura de aire mezclado constante a 13°C en el conducto. El diseño del espacio que se va a acondicionar es de 21°C al 40% de HR. El volumen total de aire a través del sistema es de 68 000 m³/h. Determinar la carga de humidificación máxima.

En la tabla 30-2, con 13°C de temperatura de aire mezclado y diseño del espacio de 40% de HR, la carga de humidificación máxima es de 3,0 kg por 1 000 m³/h de volumen de aire total. La carga máxima se produce cuando la temperatura del aire exterior está a 13°C. Si se multiplica 3,0 x 68 se obtienen el total de kg por hora requeridos para el sistema de 68 000 m³/h. Por lo tanto, la carga de humidificación máxima es de 204 kg de vapor por hora.

Tabla 30-1. Con aire de retorno a 21°C

Temp. máx. del aire deseada °C	% de aire exterior necesario a la temperatura mostrada														
	-23°	-18°	-15°	-12°	-9°	-7°	-4°	-1°	2°	4°	7°	10°	13°	16°	18°
10	25	29	31	33	36	40	45	50	57	67	80	100	—	—	—
13	19	21	23	25	27	30	33	36	43	50	60	75	100	—	—
16	12	14	15	17	18	20	22	25	29	33	40	50	67	100	—
18	6	7	7	8	9	10	11	13	14	16	20	25	33	50	100

Tabla 30-2. Con aire de retorno a 21°C

Carga de humidificación máxima (dada en kg de vapor/hora/1 000 m³/h de aire total) que se produce a la temperatura del aire exterior mostrada para la HR interior dada													
HR interior	30%		35%		40%		45%		50%		55%		
Aire mezclado Temp. °C	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	
10	6	2,1	10	2,9	10	3,8	10	4,7*	10	5,7*	10	6,6*	
13	6	1,5	11	2,1	13	3,0	13	4,0	13	4,9	13	5,9*	
16	6	1,0	11	1,4	16	2,2	16	3,1	16	4,1	16	5,0	
18	6	0,5	11	0,7	18	1,2	18	2,1	18	3,0	18	4,0	

Tabla 30-3. Con aire de retorno a 24°C

Temp. máx. del aire deseada °C	% de aire exterior necesario a la temperatura mostrada														
	-23°	-18°	-15°	-12°	-9°	-7°	-4°	-1°	2°	4°	7°	10°	13°	16°	18°
10	30	33	36	38	42	45	50	56	62	71	83	100	—	—	—
13	23	26	28	31	33	36	40	44	50	57	67	80	100	—	—
16	18	20	21	23	25	27	30	33	37	43	50	60	75	100	—
18	12	13	14	15	16	18	20	22	25	29	33	40	50	67	100

Tabla 30-4. Con aire de retorno a 24°C

Carga de humidificación máxima (dada en kg de vapor/hora/1 000 m³/h de aire total) que se produce a la temperatura del aire exterior mostrada para la HR interior dada													
HR interior	30%		35%		40%		45%		50%		55%		
Aire mezclado Temp. °C	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	Aire exterior °C	Carga máx.	
10	8	3,0	10	4,1	10	5,2*	10	6,3*	10	7,4*	10	8,5*	
13	8	2,4	13	3,3	13	4,4	13	5,6*	13	6,6*	13	7,8*	
16	8	1,8	16	2,5	16	3,6	16	4,7	16	5,8	16	6,9*	
18	8	1,2	18	1,7	18	2,6	18	3,7	18	4,8	18	5,9*	

* Las cargas de humidificación excederán el 90% de HR en el conducto a la temperatura indicada. Se recomienda la humidificación reforzada.

La ubicación, instalación y control correctos de los humidificadores es esencial para conseguir un rendimiento sin problemas y totalmente satisfactorio. El objetivo principal es ofrecer la humedad relativa requerida sin pequeñas fugas, salpicaduras o condensación. La humedad líquida, incluso en la forma de manchas, no se puede permitir en el sistema. Además de los riesgos para la estructura causados por el agua en los conductos, existe el riesgo aún más grave para la salud si se ofrecen condiciones para el crecimiento a las bacterias.

Aparte de la necesidad de un rendimiento y un diseño correctos, hay otros factores que merecen atención. El humidificador debe tener la capacidad adecuada para el sistema; debe estar situado correctamente con relación a los demás componentes del sistema; debe estar instalado correctamente y con las tuberías de manera que no se anulen las demás precauciones tomadas. Al dimensionar los humidificadores debe asegurarse de que ofrecerán la cantidad de vapor por hora que exigen los cálculos del diseño. La presión del vapor a los humidificadores debe mantenerse relativamente constante para asegurar la capacidad suficiente. Compruébelo bien para asegurarse de que no intenta poner más humedad en el vapor de aire de la que puede admitir a su temperatura actual. El uso de la psicrometría puede ser muy útil para determinar el potencial de humedad de su aplicación.

La ubicación correcta de los humidificadores en el sistema es muy importante, aunque a veces el diseño del sistema hace que esto sea difícil de conseguir. Los ejemplos siguientes de sistemas habituales muestran la ubicación correcta para el humidificador.

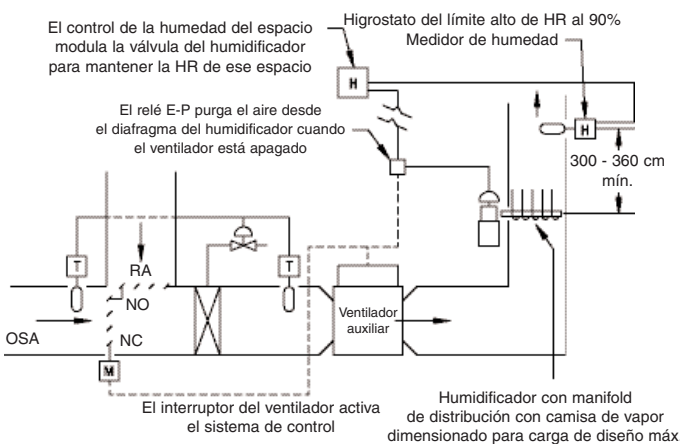
Sistema 1

Es un sistema sencillo de ventilación. Suponemos que la temperatura final del aire del conducto estará ligeramente por encima de la temperatura ambiente deseada. La ubicación deseable del manifold de distribución con camisa de vapor del humidificador principal es aguas abajo del ventilador auxiliar. Este humidificador se dimensionará para la carga máxima de diseño. Si el humidificador se coloca entre la bobina y el ventilador, puede interferir con el bulbo de la temperatura. El uso que se indica de un medidor de la humedad del higrostatato del límite alto es opcional. Se recomienda si la capacidad del humidificador a las cargas del diseño podría sobrecargar el aire cuando el contenido de humedad del aire exterior sea más alto que el del diseño. El medidor de límite alto debe estar a 300-360 cm aguas abajo del humidificador. Sitúe el medidor de límite alto donde tenga la misma temperatura que el humidificador. Una temperatura más fría en el humidificador permitiría la saturación si el medidor de límite alto estuviera en un aire más cálido.

Esto se muestra como un sistema de control neumático. El interruptor del ventilador activa el sistema de control y el relé neumático eléctrico purga el aire del diafragma del actuador del humidificador cuando el ventilador está desconectado. Los ejemplos siguientes también muestran el control neumático; si los sistemas fuesen eléctricos, las ubicaciones del control serían las mismas.

Sistema 1

Figura 31-1. Sistema de ventilación con humidificación principal



Las características de este sistema y de los sistemas siguientes incluyen:

- El control preciso es posible dada la respuesta inmediata del humidificador de vapor.
- El control puede ser eléctrico de modulación o neumático (se muestra).
- Los depósitos de drenaje o las placas del eliminador no son necesarios; hace más flexible la ubicación del humidificador.
- La adición de humedad se consigue sin cambios apreciables en la temperatura de bulbo seco del conducto.
- La válvula reguladora con camisa de vapor integral con vástago parabólico del humidificador tiene las dimensiones adecuadas para cumplir los requisitos de capacidad.

Glosario de símbolos

EA.....	Salida de aire
Relé E-P.....	Relé electroneumático
H.....	Medidor de humedad
M.....	Motor de la rejilla
MA.....	Aire mezclado
NC.....	Normalmente cerrado
NO.....	Normalmente abierto
OSA.....	Aire del exterior
RA.....	Aire de retorno
T.....	Medidor de la temperatura

Sistema 2

Este es un sistema típico de aire exterior 100% con bobinas de precalentamiento y de recalentamiento. La bobina de precalentamiento calienta el aire exterior a una temperatura controlada de 10° a 16°C. La bobina de recalentamiento añade más calor sensible en función del requisito de calor del espacio. Aquí, la ubicación deseable para el humidificador primario es aguas abajo desde la bobina de recalentamiento, para introducir la humedad en el nivel más alto de temperatura del aire de bulbo seco.

Observe la ubicación del medidor de humedad en el conducto de aire de salida. Cuando no se dispone de una buena ubicación para el medidor de humedad en el espacio humidificado, una situada en el conducto de aire de salida tan cerca como sea posible de la reja de salida también sirve para este propósito.

Una vez más, el medidor de límite alto es opcional, pero generalmente se recomienda.

Sistema 3

Este sistema es similar al anterior. También muestra aire exterior 100% y bobinas de precalentamiento y de recalentamiento. Pero aquí se utilizan dos humidificadores y se controlan en secuencia desde un solo espacio o medidor de humedad del conducto de aire de salida. Los dos humidificadores se indican como V-1 y V-2.

V-1 ofrecerá un tercio de la capacidad con un rango de muelle de 0,2 a 0,5 bar. V-2 está dimensionado para dos tercios de la capacidad, con un rango de muelle de 0,6 a 0,9 bar. Esta disposición del control de secuencia permite un control más estricto de la entrada de humedad, especialmente cuando funciona en condiciones que varían considerablemente respecto al diseño, y así se previene la posibilidad de sobrecarga y saturación del conducto. Con unas condiciones de aire exterior más suaves, V-1 puede satisfacer las condiciones al introducir sólo una parte de la capacidad total del diseño.

A medida que el aire exterior se vuelve más frío y más seco, el humidificador V-1 no satisfará la demanda y la unidad V-2 empezará a abrirse en respuesta a la demanda adicional. Esto ofrece un control más estricto en todos los tipos de condiciones de aire exterior, y también previene la sobresaturación en el conducto al diseño mínimo. Una vez más, el medidor de límite alto es opcional pero deseable.

Glosario de símbolos

EA.....	Aire de salida
Relé E-P.....	Relé electro neumático
H.....	Medidor de humedad
M.....	Motor de la rejilla
MA.....	Aire mezclado
NC.....	Normalmente cerrado
NO.....	Normalmente abierto
OSA.....	Aire del exterior
RA.....	Aire de retorno
T.....	Medidor de temperatura

Sistema 2

Sistema 3

Figura 32-1. Sistema de calor-purgador de aire 100% OSA con humidificación principal.

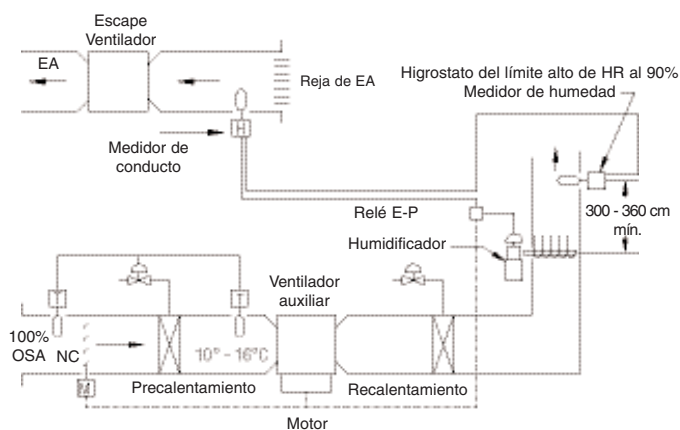
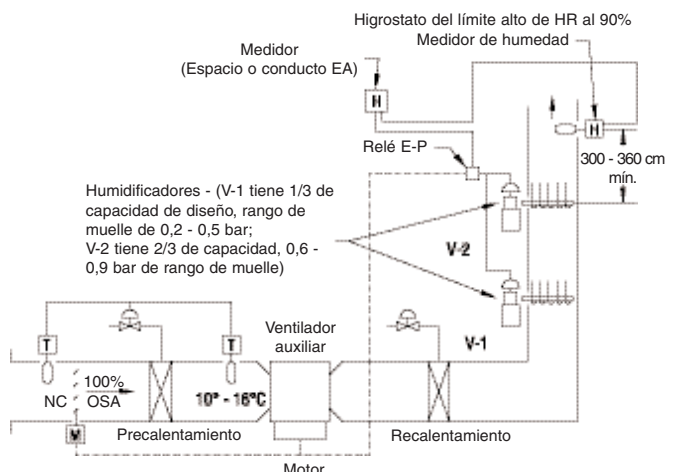


Figura 32-2. Sistema de calor-purgador de aire 100% OSA con control de secuencia en la humidificación principal.



Sistema 4

Este es otro sistema de aire exterior 100%. En este caso, el aire que deja la bobina de precalentamiento se mantiene a una temperatura constante de bulbo seco en el rango de 13° to 16°C. Este sistema indica el uso de dos humidificadores, uno como humidificador principal y el segundo como humidificador secundario o de refuerzo.

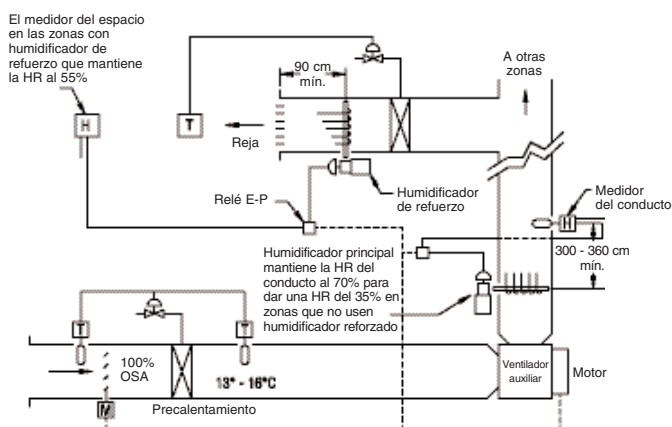
Este sistema permite que el humidificador primario se controle directamente desde un medidor de humedad de conducto a un nivel lo suficientemente alto para mantener una condición del espacio de 35% de HR a una temperatura de 24°C. La unidad de refuerzo, situada aguas abajo de la bobina de recalentamiento y el ventilador, se puede dimensionar y controlar para que produzca la humedad necesaria para aumentar la HR del espacio desde 35% a una condición más alta, pongamos 55%, donde y cuando se desee. Esto permite el control individual de la humedad de cada zona a un nivel más alto que los posibles por otros medios.

Se trata de una combinación importante, porque el uso de la unidad principal permite que la capacidad de la unidad de refuerzo sea lo bastante pequeña como para que la sobresaturación y la humedad visible no se produzcan, incluso cuando las unidades están situadas tan cerca como a 90 cm de la reja de descarga. Para obtener más información, consulte a su representante local de Armstrong o solicite el software de Armstrong Humid-A-ware™ Humidification Sizing and Selection [Selección y dimensionamiento de la humidificación] en www.armstrong.be.

En este sistema típico de manipulación de aire, no sería psicrométricamente posible introducir la suficiente humedad en la temperatura del aire aguas abajo desde la bobina de precalentamiento para ofrecer la condición máxima requerida de más de 35% de HR en el espacio. El uso de los dos humidificadores principal y de refuerzo es el único método de controlar la humedad relativa en el espacio en cualquier nivel por encima aproximadamente del 35%.

Sistema 4

Figura 33-1. Sistema de calor-purgador de aire 100% OSA con humidificación principal y de refuerzo.

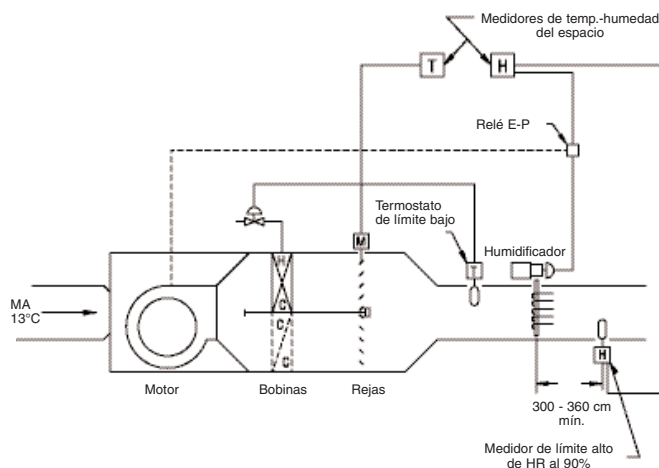


Sistema 5

Esta es una unidad compacta de calefacción y ventilación para una zona con cara interna y rejas de desviación. El humidificador debe situarse aguas abajo respecto a las rejas de mezcla para que la humedad se introduzca en las temperaturas finales del aire que sale de la unidad de ventilación y calefacción. Esta ubicación permite mantener un nivel alto de humedad relativa del espacio sin saturación del conducto. Esta ubicación del humidificador se prefiere comparada con justo encima de las bobinas debido a las condiciones de temperatura del aire má alta y mejor mezcla. Una vez más, se recomienda el medidor de límite alto para evitar la posible saturación del conducto, instalado de 300 a 360 cm aguas abajo del humidificador.

Sistema 5

Figura 33-2. Unidad compacta de calor-purgador de aire para una zona con cara interna y rejas de desviación; humidificación principal.



Sistema 6

Esta es una unidad de calefacción y ventilación para varias zonas con superficie y rejillas de desviación en cada zona. El ejemplo muestra un método y una ubicación para la humidificación principal, pero debe restringirse a las condiciones de diseño de una "humidificación de confort" de, pongamos, 35%. Estos sistemas normalmente son unidades compactas y la práctica estándar es incorporar el humidificador por delante de las bobinas, como se muestra. Esta ubicación del humidificador ofrecerá una distribución homogénea de la humedad en plataformas frías o calientes antes de la toma de la zona caliente, pero limita la cantidad de humedad que se puede añadir al aire a 13°C. Las condiciones de diseño por encima de 35% de HR tienen el riesgo de formación de vapor visible en las bobinas.

Con estas unidades, a veces es posible usar dos humidificadores en esta ubicación con reductores entre la toma de la zona y dimensionados para las distintas condiciones de humedad relativa en sus respectivas secciones. Los humidificadores de refuerzo se pueden usar en zonas concretas para lograr una humedad relativa más alta donde se necesite.

Sistema 7

Este es un sistema de conducto dual de alta velocidad que muestra humidificación principal y de refuerzo. Como el sistema 6, el humidificador principal sólo puede ofrecer "humidificación de confort", del 30% al 35% de HR. Debido a las limitaciones de espacio, el humidificador principal, dimensionado para mantener una condición de conducto de, pongamos, 90% de HR en la temperatura del aire mezclado, se puede situar como se muestra, por delante del ventilador. El humidificador se situará tan lejos como sea posible aguas arriba, no más cerca de 90 cm de la superficie del ventilador auxiliar, para garantizar la buena mezcla del aire y permitir que el medidor del conducto tenga el tiempo suficiente para registrar la condición de saturación. El uso de manifolds múltiples ayudará a proporcionar una buena mezcla del aire.

Observe que, en este caso, el humidificador principal no se controlará desde un medidor del espacio o desde un medidor del conducto de aire de salida, sino desde el medidor del conducto de suministro, como se indica. Como cada zona tiene su propia caja de mezcla controlada por temperatura, una ubicación del medidor del humidificador principal en el espacio o en el conducto de salida no ofrecería un control preciso. Además, la distancia entre el humidificador y el medidor podría causar una respuesta retardada o la anulación.

Glosario de símbolos

EA.....	Aire de salida
Relé E-P.....	Relé electro neumático
H.....	Medidor de humedad
M.....	Motor de la rejilla
MA.....	Aire mezclado
NC.....	Normalmente cerrado
NO.....	Normalmente abierto
OSA.....	Aire del exterior
RA.....	Aire de retorno
T.....	Medidor de temperatura

Sistema 6

Sistema 7

Figura 34-1. Unidad de calor-purgador de aire para varias zonas con superficie interna y rejillas de desviación para cada zona; humidificación principal.

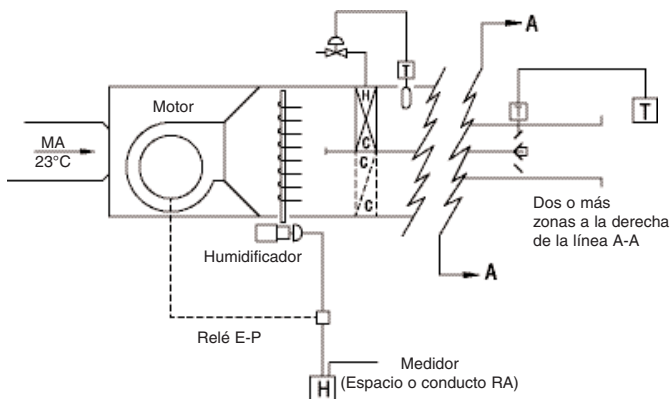
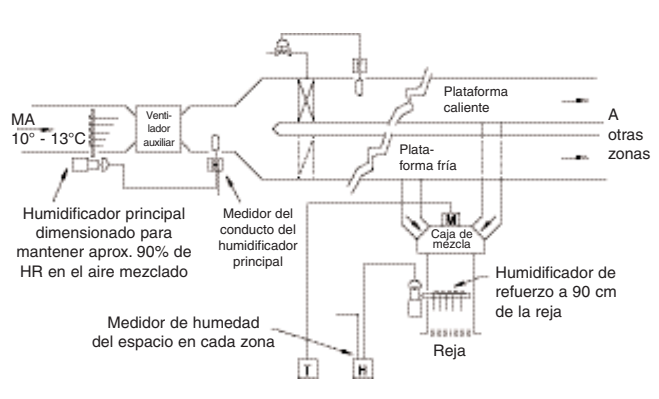


Figura 34-2. Sistema de conducto dual de alta velocidad con humidificación principal y de refuerzo.



Instalaciones de aire acondicionado compacto

Con frecuencia, los humidificadores tienen que instalarse en aires acondicionados compactos de estación central. Esto puede presentar algunos requisitos de ubicación poco frecuentes, debido a la cercanía con las unidades compactas.

En la unidad compacta del tipo aspiración con descarga horizontal que se muestra en la figura 35-1, la ubicación recomendada del humidificador es en la descarga del ventilador. En algunos casos esto no será posible. Observe que, con la ubicación alternativa, el manifold del humidificador se instala para descargar hacia arriba, en la zona de más turbulencias de aire. Esto permite que el aire consiga la mezcla óptima antes de alcanzar las aspas del ventilador. Se colocará, como se muestra, un medidor de límite alto, ajustado al 80%, cuando el humidificador se instale en la ubicación alternativa.

Las ubicaciones del humidificador recomendadas para el acondicionador de aire del tipo de aspiración con descarga vertical (figura 35-2) son idénticas a las de la unidad horizontal. Si se utiliza la ubicación alternativa, se recomienda un medidor de límite alto ajustado al 80%. El manifold del humidificador debe descargar hacia arriba, como con la unidad de descarga horizontal.

Figura 35-1. Descarga horizontal

Con el humidificador instalado en la ubicación recomendada, el medidor del higróstico del límite alto se ajustará a una HR del 90% máximo; en la ubicación alternativa, a una HR del 80% máximo.

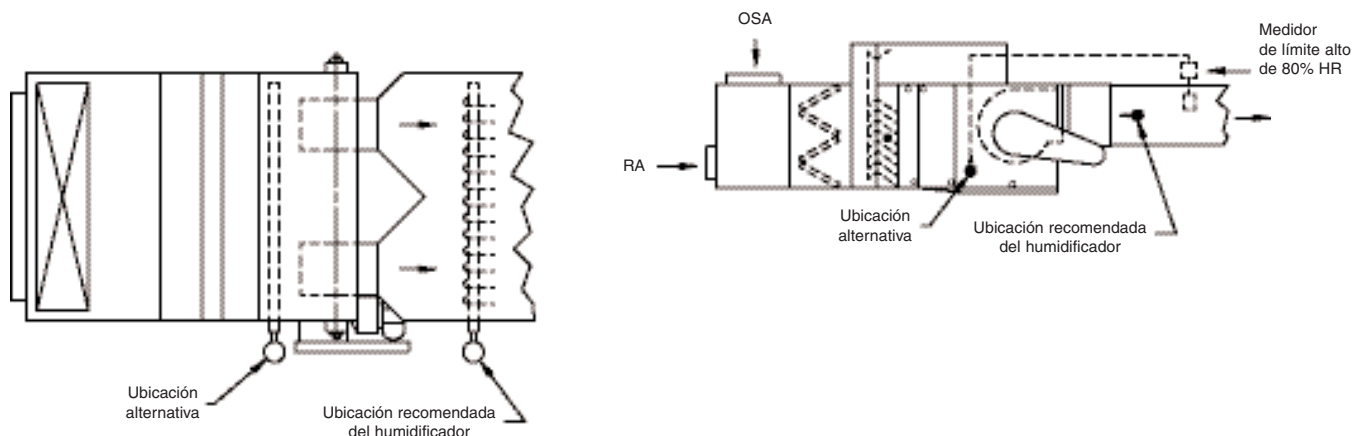
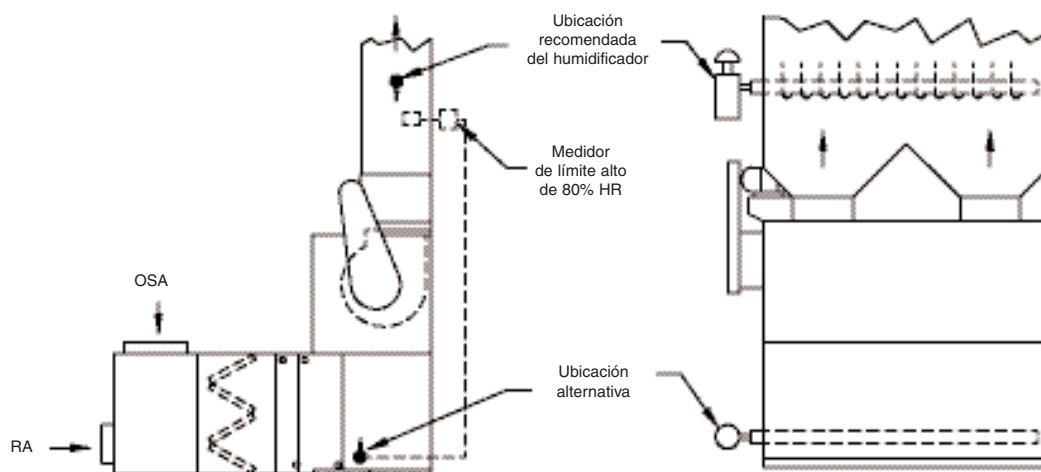


Figura 35-2. Descarga vertical



En un acondicionador de aire compacto de baja presión, para varias zonas, del tipo soplante (figura 36-1), las recomendaciones son las mismas. No obstante, para evitar la sobrecarga de la plataforma fría y el golpe de la descarga, el manifold se ha instalado para que descargue hacia arriba en lugar de directamente en la descarga del ventilador.

Como con las unidades de aspiración, se instalará un medidor de límite alto ajustado al 90%. En una unidad compacta de alta presión del tipo soplante (figura 36-2), una vez más la ubicación recomendada es la más cercana posible al ventilador, con el manifold descargando directamente en la descarga del ventilador. Es deseable un medidor de límite alto ajustado al 90%.

Tanto en los sistemas de baja como de alta presión, donde el humidificador se instale en la ubicación alternativa establezca el medidor de humedad de límite alto en el 80% de HR.

Figura 36-1. Sistema de baja presión

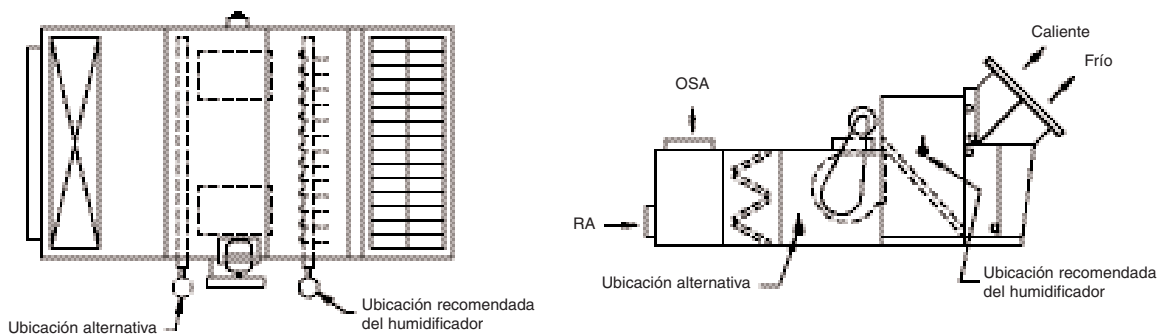
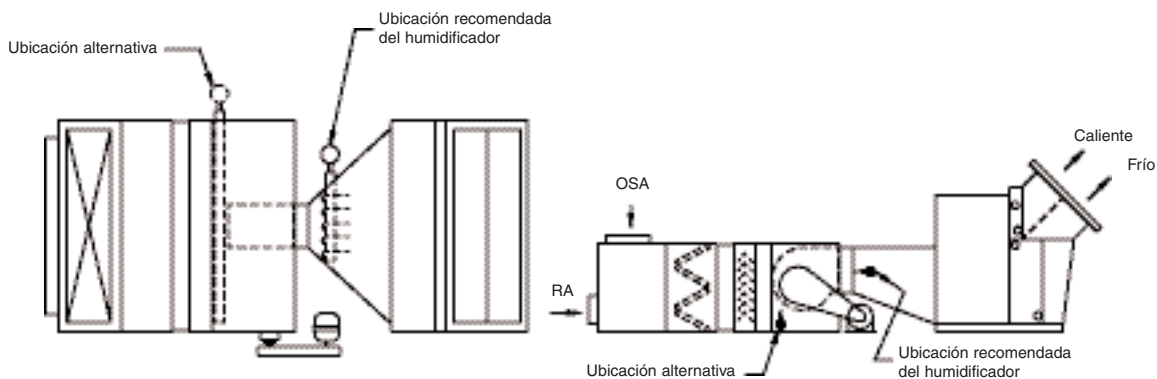


Figura 36-2. Sistema de alta presión

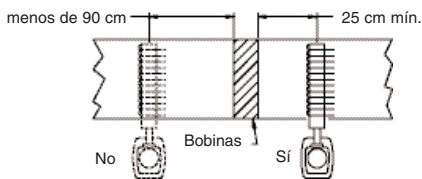


Consejos sobre lo que hay que aplicar o evitar en la instalación

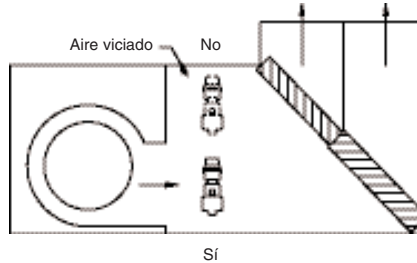


Directrices de ingeniería de humidificación

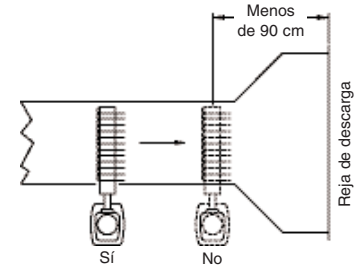
Al comentar los sistemas, hemos mencionado unas cuantas ubicaciones que aplicar o evitar. Revisemos esas precauciones que pueden ayudarle a ahorrarse problemas. Por ejemplo, siempre que sea posible, instale el manifold de distribución aguas abajo de las bobinas. Si tiene más de 90 cm de distancia disponibles entre el manifold y la bobina en el lado de aguas arriba, el manifold se puede instalar en esa ubicación (más de 90 cm para sistemas de velocidades más altas).



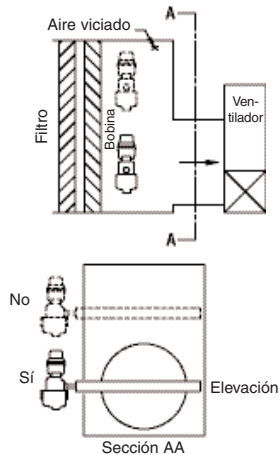
Cuando sea necesario situar la descarga del humidificador en una sistema de manipulación del aire compacto para varias zonas, instale el manifold de distribución en el centro del flujo de aire activo y tan cerca como sea posible del la descarga del ventilador.



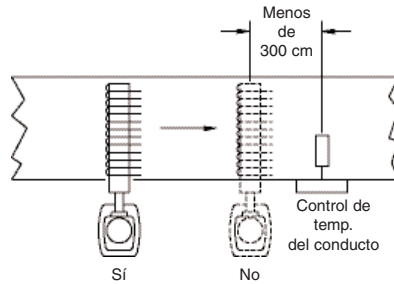
Instale siempre los manifolds de distribución tan aguas arriba de las rejillas de aire de descarga como sea posible, nunca a menos de 90 cm aguas arriba.



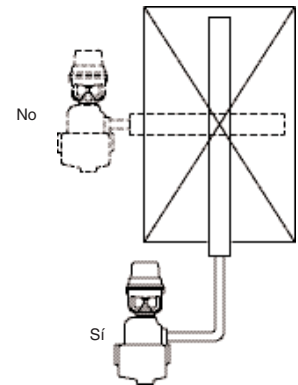
Cuando sea necesario situar el humidificador en la sección de la bobina por delante del ventilador, sitúe el manifold en el flujo de aire más activo y tan aguas arriba de la entrada del ventilador como sea posible.



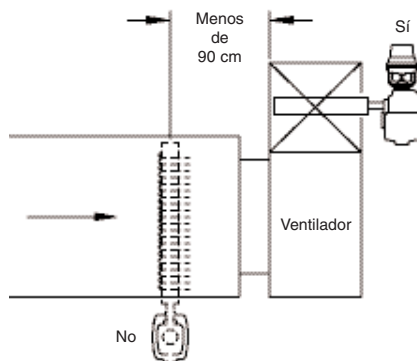
No instale un manifold de distribución más cerca de 300 cm aguas arriba de un medidor de temperatura o registrará señales falsas.



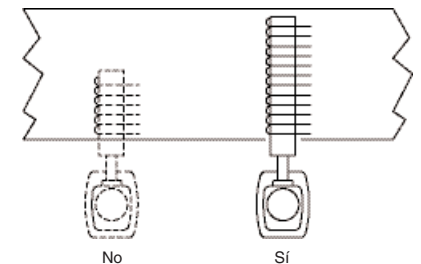
Dimensione e instale siempre el manifold de distribución para que se extienda sobre la dimensión más ancha de la sección del conducto.



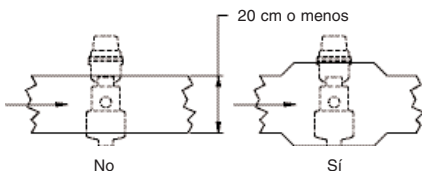
El manifold de distribución nunca debe situarse a 90 cm de una entrada de aire de ventilador. La mejor ubicación es en la descarga del ventilador.



Seleccione siempre la longitud del manifold de distribución de corriente que se extienda sobre la anchura máxima del conducto.

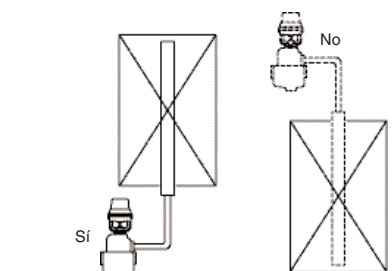
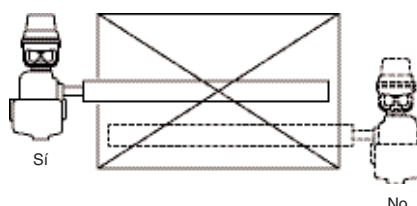


Evite la restricción del flujo de aire en los conductos de una profundidad de 20 cm o menos. Utilice una sección ampliada, como se muestra.



El manifold nunca debe instalarse verticalmente aguas abajo del humidificador. Esto presenta un problema de drenaje del condensado en la camisa del manifold. La instalación vertical aguas arriba es posible.

Siempre que sea posible, instale el manifold de distribución en el centro del conducto.



Averigüe sus requisitos para determinar la cantidad de vapor que se necesita en la humidificación, el número, tamaño y tipo de unidades necesarias, y la ubicación tanto del humidificador como de los medidores de humedad.

Dimensionamiento y ubicación con ventilación natural

Estas son las aplicaciones de humidificación industrial medias con:

Temperaturas ambientales: de 18° a 27°C.
 Humedades relativas: de 35% a 80%.
 Ventilación natural, es decir, infiltración alrededor de ventanas y puertas.

Datos seleccionados requeridos

- Temperatura exterior mínima: Para la mayoría de trabajos, calcule 5°C por encima de la temperatura más baja registrada para su ubicación. Las temperaturas más bajas raramente se producen más que unas pocas horas.
- Temperatura interior
- HR deseada
- Presión del vapor disponible para la humidificación
- Volumen de la sala en m³
- Cambios de aire por hora: los cambios de aire que tienen lugar en condiciones medias excluyendo el aire proporcionado por la ventilación o la recuperación de los materiales higroscópicos.

Salas, 1 lado expuesto.....1
 Salas, 2 lados expuestos.....1 1/2
 Salas, 3 o 4 lados expuestos.....2
 Salas sin ventanas o
 puertas al exterior.....1/2 – 3/4

Problema habitual:

Condiciones exteriores del diseño.....-15°C a 90% HR
 Temperatura interior.....21°C
 HR requerida.....40%
 Cambios de aire por hora.....2
 Presión del vapor disponible.....0,35 bar

Dimensiones de la sala 120 m x 50 m x 7,5 m (con 3 m de techo)
 Ventilación natural
 Calentada por: Unidad de calentador-ventilador con control de encendido-apagado

Paso I: Vapor requerido para la humidificación. Nuestra sala contiene (120 m x 50 m x 7,5 m) o 45 000 m³

Utilizando la fórmula que se explicó en la página 28:

$$\text{Humidificación carga en kg/h} = \frac{2.45\ 000 \cdot 1,2 \cdot (6,17 - 0,91)}{1\ 000} = 568\ \text{kg/h}$$

Paso II: Unidades eléctricas o controladas por aire: La gran zona del suelo hace optar por humidificadores múltiples. No se ha especificado riesgo de explosión, por lo que el uso de unidades controladas por aire no es necesario. Se recomiendan las unidades eléctricas.

Paso III: Número de humidificadores para el trabajo. Divida el vapor requerido por la capacidad de los humidificadores a la presión de vapor disponible.

Paso IV: Qué tamaño de humidificador se usará. Para este ejemplo, se recomienda un gran número de unidades de pequeña capacidad. Las unidades de mayor capacidad podrían causar condensación en el techo bajo. También, debido a la gran área del suelo, los higróstatos para menos unidades estarían ampliamente espaciados, lo cual podría producir un control menos preciso que lo deseable.

Paso V: Qué tipo de humidificador se usará. En este ejemplo, se prefieren las unidades de ventilador integral en lugar de las unidades de chorro de vapor, instaladas junto con calentadores unitarios. Como los ventiladores de los calentadores unitarios se encienden o se apagan para controlar la temperatura, de lógica el higróstato pedirá vapor cuando el calentador unitario más cercano no esté funcionando. Con un techo tan bajo, la descarga del humidificador de chorro de vapor puede llegar al techo y producir condensación. Por lo tanto, se usará el tipo de ventilador integral.

Paso VI: Ubicación de los humidificadores. Hay varios patrones posibles, y la ubicación real se puede adecuar al suministro existente de vapor y las líneas de retorno para hacer una instalación más económica con un mínimo de tuberías nuevas.

En nuestro problema de una sala de 120 m x 50 m x 7,5 m, probablemente habrá líneas de vapor a lo largo de los dos lados de la sala, y los humidificadores se pueden situar como se muestra, en negro, en la figura 39-1. Si las líneas de suministro pasan por el centro de la sala, el patrón en línea será el más práctico. Los ramales hacia las unidades de ventilador integral en una sala de 50 m de ancho serán de unos 6 m de largo. Si la sala fuese sólo de 18 o 24 m de ancho, los ramales tendrían que ser más largos de lo necesario para la conexión real.

Paso VII: Ubicación del higrostatato. Debe estar a 6 o 9 m del humidificador y ligeramente a un lado de la corriente de aire desde la unidad. El higrostatato tiene que “ver” a su humidificador y estar en el aire “activo”. No lo oculte tras un poste o en el canal de un haz hídrico. Debe obtener una buena muestra del aire para controlar la humedad.

Dimensionamiento y ubicación con ventilación forzada

Trabajos habituales: Talleres y salas de lijado en fábricas de muebles. Aquí, el problema de selección e instalación de los humidificadores es muy similar a lo descrito anteriormente, excepto por:

1. Determinación del número de cambios del aire.
2. Ubicación de los humidificadores y los higrostatatos.

Cambios del aire: Se pueden determinar a partir de las capacidades de los ventiladores de salida: La capacidad en metro cúbico por hora de los ventiladores, dividida por el metro cúbico de espacio que se va a humidificar, dará el número de cambios de aire.

Donde se desconozca la capacidad del ventilador, o ventiladores, los cambios de aire se pueden medir con las lecturas del anemómetro en todas las puertas abiertas, pozos de ascensor, etc., que lleven a la sala y con los ventiladores funcionando a plena capacidad. Su representante de Armstrong puede ayudarle a determinar los cambios de aire necesarios.

Figura 39-1. Donde sea práctico, sitúe los humidificadores para minimizar las tuberías. Las ubicaciones que se muestran en negro indican las líneas de suministro de vapor a lo largo de las paredes exteriores; en blanco se indica el suministro que pasa por el centro de la sala.



Ubicación del humidificador: Tenga presente que los humidificadores tendrán que controlar la humedad las 24 horas al día, siete días a la semana, durante la temporada de calefacción. Los ventiladores de salida quizá sólo funcionen de 40 a 80 horas por semana. Por este motivo, los humidificadores y los higrostatatos deben situarse para una buena distribución de la humedad durante los períodos en que el ventilador está desactivado, así como cuando está funcionando.

Humidificación donde haya riesgo de explosión

El dimensionamiento de humidificadores que funcionan por aire para las áreas donde haya riesgo de explosión se realiza exactamente del mismo modo, excepto que los humidificadores deben dimensionarse para las condiciones más rigurosas del aire de relleno, la HR requerida y la presión mínima del vapor.

Los humidificadores se situarán para que haya la mejor dispersión y distribución posible del vapor en el área.

Aplicaciones industriales con fines especiales

En determinadas operaciones industriales, se necesita una capa de humedad relativa alta cerca de una hoja o una película de papel, plástico fino, tela, celofán, etc, que se mueven rápidamente. El objetivo puede ser prevenir la acumulación de cargas de electricidad estática, o evitar la pérdida de humedad del material. Si la hoja o la película está caliente, como bien pudiera ser, tenderá a expeler su humedad rápidamente. Al utilizar humidificadores de ducha expresamente adaptados para esta aplicación y para crear una zona laminar de alta humedad adyacente a la hoja, se evita la pérdida de humedad y el contenido de humedad del material se mantiene correctamente.

Para esta aplicación, el humidificador debe estar interconectado con el accionamiento de la máquina, y es esencial que el vapor se descargue en estado seco, sin gotitas de agua o pulverización de líquido.

Figura 39-2. Se esboza un requisito habitual. Distribución esquemática de los humidificadores en una fábrica de maderas que utiliza ventiladores de salida. Las flechas indican el flujo de aire inducido por los ventiladores. Los humidificadores se han dimensionado para las condiciones de carga impuestas por los ventiladores. Los humidificadores se han situado para ofrecer una distribución uniforme de humedad cuando los ventiladores están apagados o cuando están funcionando.

