

Anexo 3 Prevención de los daños por condensación

1 Introducción

El daño por condensación es un término colectivo que se refiere a los daños que sufre la carga en una unidad de transporte debidos a la humedad interna, especialmente en contenedores en viajes largos. Este daño se puede materializar en forma de corrosión, enmohecimiento, putrefacción, fermentación, descomposición de los embalajes/envases de cartón, fugas, manchas y reacciones químicas, como calentamiento espontáneo, gaseamiento y autoignición. La fuente de esta humedad es por lo general la carga misma y hasta un cierto grado los elementos de arriostamiento de madera, las paletas, los embalajes/envases porosos y la humedad que se introduce al arrumar la unidad cuando llueve o nieva o en condiciones atmosféricas de gran humedad y alta temperatura. Es por tanto de la mayor importancia controlar el contenido de humedad de la carga que se va a arrumar y de las maderas de estiba que se puedan usar, teniendo en cuenta el efecto climático previsible del transporte que se va a efectuar.

2 Definiciones

A continuación se definen las expresiones técnicas más importantes a fin de evaluar de esta manera la "adecuación para el contenedor" de la carga que se va a arrumar y para entender los procesos típicos de los daños por condensación.

Humedad absoluta del aire	Cantidad real de vapor de agua en el aire, medida en g/m ³ o g/kg.
Condensación	La conversión de vapor de agua a un estado líquido. Suele producirse cuando el aire se enfría hasta su punto de rocío al entrar en contacto con superficies frías.
Umbral de corrosión	Una humedad relativa de un 40% o más dará lugar a un riesgo creciente de corrosión de los metales férricos.
Criptoclima en el contenedor	Estado de humedad relativa del aire en un contenedor cerrado, que depende del contenido de agua de la carga o de los materiales en el contenedor y de la temperatura ambiente.
Variación diaria de la temperatura en el contenedor	El aumento y descenso de la temperatura de acuerdo con la hora del día, a menudo desmedidos por efecto de la radiación u otras influencias climáticas.
Punto de rocío del aire	Temperatura inferior a la temperatura real en la cual una humedad relativa dada llegaría a un 100 %. Ejemplo: el punto de rocío del aire a una temperatura de 30 °C y una humedad relativa de 57 % (= una humedad absoluta de 17,3 g/m ³) sería de 20 °C, porque a esta temperatura los 17,3 g/m ³ representan la humedad de saturación o una humedad relativa del 100 %.
Higroscopicidad de la carga	La propiedad de ciertas cargas o materiales de absorber vapor de agua (adsorción) o de emitir vapor de agua (desorción), dependiendo de la humedad relativa del aire ambiente.
Umbral para el cultivo de moho	Una humedad relativa de un 75 % o más dará como resultado un riesgo creciente de que se formen cultivos de moho en sustancias de origen orgánico, como alimentos, textiles, cuero, madera y minerales de origen no orgánico como los de las piezas de cerámica.

Humedad relativa del aire	Humedad absoluta real expresada como porcentaje de la humedad de saturación a una temperatura dada. Ejemplo: una humedad absoluta de 17,3 g/m ³ en una atmósfera de 30 °C representa una humedad relativa de $100 \cdot 17,3/30,3 = 57 \%$.
Humedad de saturación del aire	Contenido de humedad máximo posible en el aire de acuerdo con la temperatura del aire (2,4 g/m ³ a -10 °C; 4,8 g/m ³ a 0 °C; 9,4 g/m ³ a 10 °C; 17,3 g/m ³ a 20 °C y 30,3 g/m ³ a 30 °C; véase la figura 3.1 más abajo).
Equilibrio de sorción	Estado de equilibrio de adsorción y desorción a una determinada humedad relativa del aire ambiente y del contenido de agua conexo de la carga o material.
Isoterma de sorción	Gráfico empírico que muestra la relación del contenido de agua de una carga o material con la humedad relativa del aire ambiente. El proceso de adsorción suele utilizarse para caracterizar dicha relación. Las isotermas de sorción son específicas para las diversas cargas o materiales (véase la figura 3.2 más abajo).
Contenido de agua de la carga	Agua latente y vapor de agua en una carga higroscópica o material conexo, generalmente consignada como un porcentaje de la masa húmeda de la carga (por ejemplo, 20 toneladas de granos de cacao con un contenido de agua del 8 % contendrá 1,6 tonelada de agua).

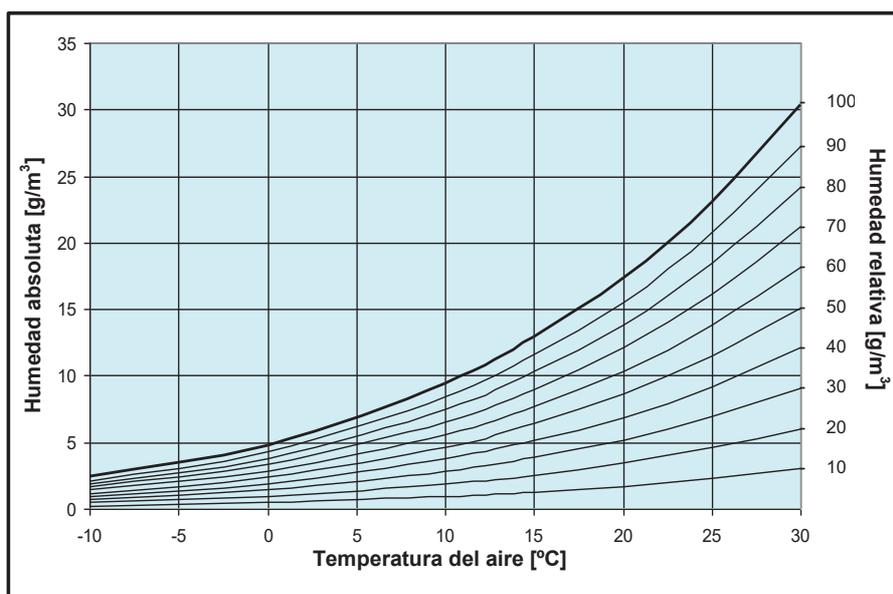


Figura 3.1 Humedad absoluta y relativa

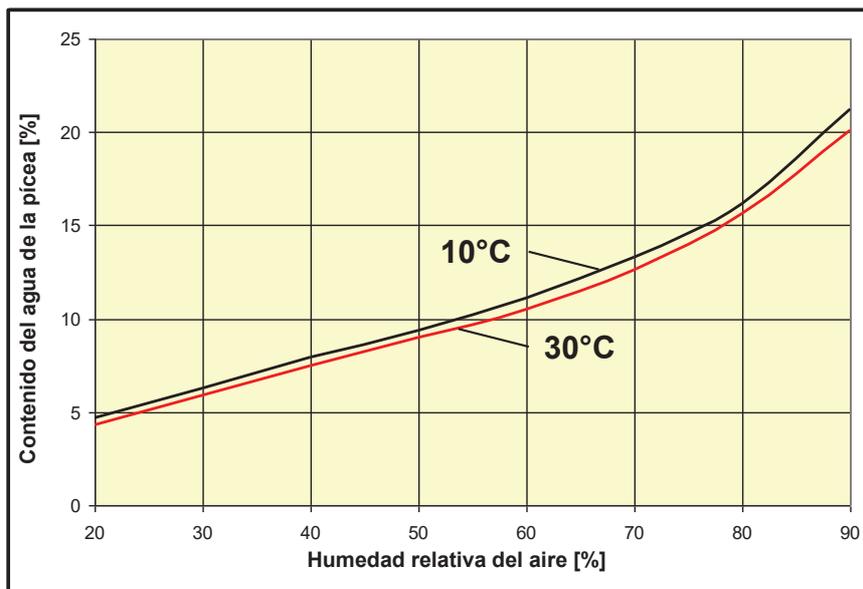


Figura 3.2 Isotérmicas de la sorción de la picea de Sitka

3 Mecanismos de condensación

- 3.1 Las unidades de transporte cerradas, en particular los contenedores cerrados, arrumadas con una carga que contenga vapor de agua, rápidamente crearán un microclima interno con una humedad relativa característica del aire que rodea a la carga. El nivel de esta humedad relativa es una función del contenido del agua de la carga y de los materiales conexos de embalaje/envase y maderas de estiba, a tenor de las isotermas específicas de sorción de la carga y de los materiales conexos. Una humedad relativa de menos del 100 % evitará la condensación, de menos del 75 % evitará el cultivo de moho y de menos del 40 % evitará la corrosión. Sin embargo, esta protección ilusoria solo será válida mientras la unidad de transporte no se somete a cambios de temperatura.
- 3.2 Las variaciones diarias de temperatura que afectan a las unidades de transporte son comunes en las rutas de transporte largas, en particular el transporte por mar, en las cuales además dependerán en gran medida de la posición de estiba de la unidad de transporte en el buque. La colocación de la unidad en la parte superior de la estiba de cubierta podrá causar variaciones de temperatura diarias de más de 25 °C, mientras que las posiciones de estiba en la bodega de carga podrán experimentar tan solo variaciones ligeras.
- 3.3 La elevación de las temperaturas en una unidad de transporte en horas de la mañana hará que la humedad relativa establecida del aire descienda por debajo del equilibrio de sorción. Esto a su vez desencadenará el proceso de desorción del vapor de agua de la carga y de los materiales conexos, elevando así la humedad absoluta en el aire interno, en particular en las partes superiores de la unidad con la temperatura más alta. En esta fase no hay riesgo de condensación.
- 3.4 En las últimas horas de la tarde la temperatura en la unidad de transporte comienza a descender, con una disminución pronunciada en las partes superiores. En la capa límite del techo el aire alcanza rápidamente el punto de rocío a una humedad relativa del 100 % y se inicia de inmediato la condensación, que forma grandes gotas colgantes de agua. Es esta la temible exudación del contenedor, que caerá en la carga y causará humedecimiento local con todas las posibles consecuencias de daño. De igual modo, la condensación en las paredes del contenedor descenderá y podrá mojar la carga o las maderas de estiba desde abajo.

- 3.5 La condensación del agua retarda el aumento general de la humedad relativa en el aire y por tanto retarda a su vez la absorción del vapor de agua por la carga y los materiales conexos. Si este proceso de variación de la temperatura se repite varias veces la cantidad de agua líquida que libera la desorción podrá ser considerable, aunque parte se evaporará durante las fases calientes del proceso.
- 3.6 Un proceso muy similar de condensación podrá tener lugar si se descarga del buque un contenedor con una carga caliente e higroscópica, como café en bolsas, pero se deja sin abrir durante algunos días en un clima frío. La condensación del techo inferior del contenedor empapará la carga.
- 3.7 Aparte del riesgo descrito de la exudación del contenedor debida a la variación diaria de la temperatura, puede además tener lugar un tipo de condensación totalmente diferente si la carga se transporta en una unidad de transporte cerrada de un clima frío a uno caliente. Si la unidad de transporte se desarruma en una atmósfera húmeda inmediatamente después de haberse descargado del buque, la carga aún fría puede causar la condensación del vapor de agua del aire ambiente. Esto es lo que se conoce como exudación de la carga, que es particularmente desastrosa para los productos de metal y la maquinaria, ya que de inmediato se inicia el proceso de corrosión.
- 4 Medidas para la prevención de pérdidas
- 4.1 Daños por corrosión: los productos de metales férricos, entre ellos maquinaria, instrumentos técnicos y alimentos enlatados, se deberían proteger contra la corrosión ya sea mediante el uso de un revestimiento adecuado o adoptando medidas que permitan mantener la humedad relativa del aire ambiente en la unidad de transporte de manera fiable por debajo del umbral de corrosión del 40 %.
- 4.2 El contenido de humedad de las maderas de estiba, paletas y material de embalaje/envase secos se puede calcular en un 12 % a un 15 %. Las isotermas de sorción de estos materiales muestran que con este contenido de humedad la humedad relativa del aire en el interior de la unidad de transporte inevitablemente se establecerá por sí sola en aproximadamente un 60 % a un 75 % una vez cerradas las puertas. Por consiguiente, se deberían tomar medidas adicionales, como el secado activo de las maderas de estiba y del material de embalaje/envase o el uso de desecadores (agentes de secado en bolsitas y otros métodos pasivos para capturar la humedad), en conjunción con el uso de una envoltura plástica sellada.
- 4.3 Cuando se usen en conjunción con mercancías peligrosas, los embalajes/envases y las maderas de estiba hechos de tablero de fibra deberían someterse a pruebas de resistencia al agua aplicando el método Cobb que se especifica en la norma ISO 535¹.
- 4.4 Enmohecimiento, putrefacción y manchas: Las cargas de origen orgánico, entre ellas alimentos crudos, textiles, cuero, madera y productos de la madera, o sustancias de origen no orgánico como cerámica, se deberían arrumar en una unidad de transporte en condiciones "secas para el contenedor". Si bien el umbral para el cultivo de moho se ha fijado en una humedad relativa del 75 %, la condición "seca para el contenedor" define un contenido de humedad de una carga específica que mantiene un equilibrio de sorción con una humedad relativa del aire en la unidad de transporte de un 60 % aproximadamente. Esto proporciona un margen de seguridad contra las variaciones diarias de la temperatura y las variaciones conexas de humedad relativa. Además, las cargas muy sensibles deberían cubrirse con una tela no tejida (vellón) que proteja la parte superior de la carga contra la caída de las

¹EN 20535: 1994, ISO 535: 1991 *Paper and board – Determination of water absorptiveness – Cobb method*

gotas del agua exudada. La introducción de desecadores en una unidad de transporte que contenga carga higroscópica, que no está en condiciones "secas para el contenedor", por lo general no dará resultado debido a la falta de suficiente capacidad de absorción del agente de secado.

- 4.5 Aplastamiento del bulto: Un efecto secundario de la adsorción de humedad del cartón usual que no es impermeable. Con una humedad creciente del 40 % al 95 % el cartón pierde hasta el 75 % de su estabilidad. Las consecuencias son el aplastamiento de las cajas de cartón apiladas y la destrucción y el derrame del contenido. Las medidas que cabe adoptar son en principio idénticas a las que se utilizan para evitar el enmohecimiento y la putrefacción, o el uso de embalajes/envases de cartón "resistente a la humedad".
- 4.6 Desarrumazón
 - 4.6.1 La desarrumazón de mercancías arrumadas en un clima frío que llegan a un clima caliente con una humedad absoluta más elevada se debería aplazar hasta que las mercancías se hayan calentado lo suficiente para evitar la exudación de la carga. Esto puede llevar uno o más días, a menos que las mercancías estén protegidas por un revestimiento plástico estanco al vapor y una cantidad suficiente de desecadores. El revestimiento se debería dejar en su lugar hasta que la carga se haya aclimatizado por completo.
 - 4.6.2 Al llegar a un clima frío con una humedad absoluta baja, las mercancías higroscópicas arrumadas en un clima caliente se deberían desarrumar inmediatamente después de descargarlas del buque con el fin de evitar daños a la carga ocasionados por la exudación del contenedor. Si bien puede haber un riesgo de exudación interna de la carga cuando esta se enfría demasiado rápidamente en contacto con el aire libre, la experiencia ha demostrado que el proceso de secado no deja tiempo para que se inicie el cultivo de moho si después de la desarrumazón los bultos se ventilan adecuadamente.