



CONDENSER

Selects UNA SELECCIÓN DE ARTÍCULOS DE CONDENSER TRADUCIDOS AL ESPAÑOL

Juego
Viejo,
**Cartas
Nuevas**

Objetivos del
equipo para
mejorar las
operaciones
de seguridad



CTI ESPECIALISTAS EN DETECCIÓN DE GASES



Nuestros sensores prevalecen
donde otros fallan.

CONSTRUIDOS PARA CONDICIONES EXTREMAS
INVENTARIO EN STOCK DISPONIBLE

- Más Gases -

Aunque nos especializamos en la detección del amoníaco, ofrecemos también sensores excelentes para detectar CO2, sintéticas y muchos otros gases.

- Temperaturas Extremas -

Nuestros sensores están diseñados para prevalecer en temperaturas extremas de -45.5C a +65.5C. Las instalaciones de producción de alimentos son nuestra especialidad

- Lavados a Presión -

Nuestros detectores están encapsulados en un compuesto de uretano que los hace impermeables a lavados de alta presión y a la corrosión.



+52 479 223 3942
miguel.lopez@ctigas.com

Miguel está feliz de ayudar a responder
sus preguntas sobre detección de gas.





BY GARY SCHRIFT 

mensaje del

PRESIDENTE

“**E**stamos encantados de compartir con ustedes una selección de nuestros artículos de la revista Condenser del IAR, traducidos al idioma español por nuestra Asociación Aliada en España: AEFYT. La visión del IAR es crear un mundo mejor a través del uso seguro y eficiente de refrigerantes naturales. Pensamos que estas ediciones son una forma efectiva en que podemos lograr

precisamente eso. Con la ayuda de nuestros aliados en España y en todo el mundo, estamos seguros de que los refrigerantes naturales como el amoníaco, el CO₂ y los hidrocarburos proporcionarán un futuro sostenible y próspero para todos. Esta selección de artículos ha sido agrupada por temas principales que reflejan un aspecto importante de la industria de refrigeración con refrigerantes

naturales. En IAR y AEFYT esperamos que este esfuerzo conjunto para comunicar las últimas noticias e información dentro de la industria brinde a nuestros miembros de habla hispana conocimientos nuevos, información útil y recursos para expandir el uso seguro y sostenible de los refrigerantes naturales. Si desea leer el artículo original de la revista Condenser en inglés, visite el sitio web del IAR en: www.iar.org. ¡Esperamos que los disfrute!”

“We are delighted to share with you a selection of our IAR’s Condenser Magazine articles, translated to the Spanish language by our Allied Association in Spain: AEFYT. IAR’s vision is to create a better world through the safe and efficient use of natural refrigerants. We believe this is one way we can achieve just that. With the help of our partners in Spain and around the world, we are confident that natural refrigerants such as ammonia, CO₂ and hydrocarbons will provide a sustainable and prosperous future for all. This selection of articles has been grouped by main themes that reflect an important aspect of the natural refrigeration industry. We at IAR and AEFYT hope that this joint effort in communicating the latest news and information within the industry provides our Spanish speaking members with new insights, useful information and resources to expand the safe and sustainable use of natural refrigerants. If you would like to read the original Condenser Magazine article in English, visit the IAR website at: www.iar.org. Enjoy!”



BY MANUEL LAMÚA  AEFYT

mensaje del

GERENTE

“**E**n AEFYT siempre se ha valorado positivamente las acciones desarrolladas por el IAR sobre la difusión de conocimiento relacionado con el uso del amoníaco como refrigerante. La revista Condenser del IAR es una publicación muy potente con contenidos teóricos, tecnológicos y promocionales muy interesantes. Al plantear al IAR que

una forma de colaboración podía ser la traducción de artículos agrupados temáticamente para una publicación conjunta, les pareció una idea estupenda ya que aumentaba la difusión del trabajo desarrollado previamente por IAR creando a la vez documentos temáticos en español sobre asuntos importantes en refrigeración industrial. Con la ayuda del IAR, queremos aportar nuestro granito

de arena facilitando la transmisión de conocimiento que permita la instalación segura de los sistemas frigoríficos, para que los refrigerantes naturales como el amoníaco, CO₂ e hidrocarburos, aporten soluciones sostenibles en un mundo donde el frío es cada día más necesario. Esperamos que la lectura de los artículos sea agradable y quede la misma se extraigan conocimientos útiles. Y nada más, visite nuestra web www.aefyt.es. Gracias.”

“At AEFYT, we always have valued IAR’s work on expanding the knowledge for the safe use of ammonia as a refrigerant. The Condenser Magazine published by IAR is a powerful publication with very interesting theoretical, technical concepts, and promotional content. When we proposed collaborating in the translation of these articles for a joint publication to IAR, they agreed this would be a great idea, which will expand on the work previously done, while sharing common themed documents in the Spanish language on important issues in industrial refrigeration. With the help of IAR, AEFYT wants to contribute with a ‘grain of sand’ to facilitate this transmission of knowledge for the safe installation of refrigeration systems. In this way, natural refrigerants such as ammonia, CO₂ and hydrocarbons can provide sustainable solutions in a world where ‘cold’ is every day more necessary. We hope that you will find reading of these articles enjoyable, and that they provide you with useful knowledge. Feel free to visit our website www.aefyt.es. Thank you”

Causas y prevención de la corrosión

Por Jim Young/Director of Technology / ITW Insulation Systems

Traducido por: Lorena Hernández (ASOFRIO)

RESUMEN

Los sistemas de aislamiento mecánico entre otras razones, se utilizan en tuberías frías y calientes, tanques, conductos, recipientes y equipos para conservar la energía, prevenir la condensación superficial, evitar quemaduras por contacto. En la mayoría de las aplicaciones al aire libre y algunas ubicaciones interiores, estos sistemas utilizan una cubierta metálica protectora exterior para proporcionar resistencia a los rayos UV, resistencia a daños y repeler el agua. Independientemente del tipo de metal, esta cubierta es susceptible a la corrosión galvánica y a la corrosión tipo picadura o grietas en la superficie interior causada por la penetración de agua en el sistema de aislamiento. La mejor manera de prevenir esta corrosión es laminar térmicamente en fábrica una barrera de humedad de polisulrilyn multicapa de 76 µm (3 milésimas de pulgada) en la superficie interior de la cubierta metálica.

ANTECEDENTES

El aislamiento se utiliza en la superficie externa de tuberías, tanques, conductos, recipientes y equipos por la misma razón por la que se utiliza en los cerramientos de los edificios: para reducir el flujo de calor. En esta aplicación, el aislamiento forma parte de una construcción compleja

genéricamente llamada sistema de aislamiento mecánico, que puede incluir una o varias capas de aislamiento, adhesivo en las juntas del aislamiento, barrera de vapor y revestimiento metálico. Estos sistemas suelen ser más complicados que el aislamiento debido a su geometría compleja, al flujo unidireccional de calor/humedad, a las temperaturas extremas de los equipos mecánicos que se aíslan y a la ubicación de los sistemas que a menudo están expuestos al aire libre. La Tabla 1 muestra algunos ejemplos comunes de sistemas de aislamiento mecánico al aire libre, sus temperaturas de funcionamiento y una breve descripción del sistema de aislamiento.

Los sistemas de aislamiento mecánico para aplicaciones de alta temperatura se utilizan en tuberías/equipos que pueden estar a más de 649°C (>1200°F) y los principales objetivos del sistema de aislamiento son mejorar la eficiencia energética, prevenir quemaduras por contacto y mantener el control del proceso. Los efectos secundarios del sistema de aislamiento pueden incluir una mayor resistencia al fuego y reducción del sonido. Ejemplos de aplicaciones para sistemas de aislamiento mecánico en alta temperatura son el suministro de agua caliente en un edificio comercial, plantas de energía, refinerías y cracking de petróleo/gas, fabricación petroquímica y producción de alimentos.

Los sistemas de aislamiento mecánico para aplicaciones de baja temperatura se utilizan en tuberías/equipos que van desde la temperatura ambiente hasta cerca del cero absoluto -273°C. Los principales objetivos del sistema de aislamiento son mejorar la eficiencia energética, minimizar la condensación en la superficie del sistema, prevenir quemaduras por contacto y mantener el control del proceso. Ejemplos de aplicaciones para sistemas de aislamiento mecánico en frío son la refrigeración de alimentos/bebidas, la climatización de agua fría en edificios comerciales, el manejo y transporte de gas natural líquido y la fabricación petroquímica.

Debido a la naturaleza compleja de los sistemas de aislamiento mecánico, generalmente son diseñados por ingenieros contratados directamente por el propietario de las instalaciones o el arquitecto, o por una empresa de diseño de ingeniería subcontratada. Las especificaciones para el aislamiento mecánico pueden variar desde documentos cortos y muy simples hasta más de 100 páginas, según la complejidad del trabajo y del sistema de aislamiento.

REVESTIMIENTO METÁLICO Y CORROSIÓN EN LA SUPERFICIE INTERIOR

Se podrían escribir libros enteros sobre el tema de los sistemas de aislamiento mecánico, pero

Tabla 1 Sistemas comunes de aislamiento mecánico

Aislamiento Tipo de Sistema	Tubería/Equipo Contenido	Temperatura de funcionamiento °C (°F)	Descripción del sistema de aislamiento mecánico exterior
Planta de energía	Gases de escape	>649°C (>1200°F)	Revestimiento de fibra refractaria / acero inoxidable
Vapor a alta presión	Vapor	>260°C (>500°F)	Revestimiento de lana mineral / aluminio
Petróleo/gas caliente y petroquímicos	Varios orgánicos	38 to 260°C (100 to 500°F)	Revestimiento de lana mineral / aluminio o acero inoxidable
Petróleo/gas frío y petroquímicos	Varios orgánicos	-101 to 16°C (-150 to 60°F)	Aislamiento PIR / retardante de vapor / revestimiento de aluminio
Aire acondicionado en edificios comerciales	agua fría	4°C (40°F)	Aislamiento fenólico / retardante de vapor / revestimiento de aluminio
Alimentos/Bebeidas refrigeradas	Amoniaco, CO ₂ , HCFC	-51 to 4°C (-60 to 40°F)	Aislamiento de espuma rígida multicapa / retardante de vapor / revestimiento de aluminio
Gas natural licuado (GNL)	Metano líquido	-165°C (-265°F)	Aislamiento PIR de 3 capas / retardante de vapor / revestimiento de aluminio

este documento se centrará en el revestimiento metálico y, más concretamente, en los tipos específicos de corrosión propensos del revestimiento metálico de los sistemas de aislamiento mecánico.

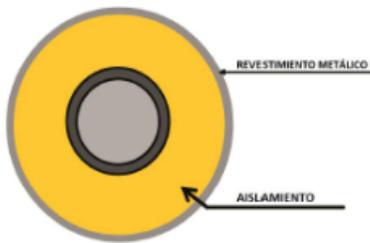
Muy pocos materiales de aislamiento pueden dejarse expuestos en aplicaciones al aire libre, por lo que se utiliza ampliamente el revestimiento metálico para proteger el sistema de aislamiento contra daños debido a la exposición a los rayos UV, la acción física y el agua ambiental. Se

han utilizado muchos tipos de metales como revestimiento, incluyendo aluminio, acero inoxidable, aluzinc, acero aluminizado e incluso acero galvanizado. De todos ellos, los más comúnmente utilizados en América del Norte son el aluminio y el acero inoxidable, y el uso de ambos materiales está creciendo también fuera de América del Norte. Fuera de América del Norte, el aluzinc y el acero aluminizado son muy populares. Todos los tipos de metal tienen diferentes ventajas

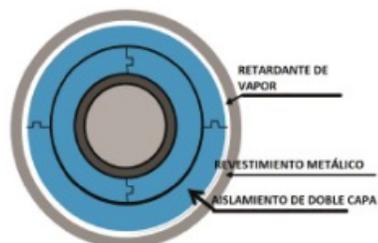
y desventajas, pero todos tienen dos debilidades clave relacionadas con esta discusión. Todos tienen juntas que son imposibles de sellar completamente contra la penetración del agua y todos pueden exhibir el tipo de corrosión en la superficie interior, foco de este documento.

La infiltración de agua en el sistema de aislamiento a través de las juntas en el revestimiento metálico es inevitable porque estas juntas no se pueden sellar completamente con adhesivos/selladores. Además, es común que el

Figura 1 Ubicación del agua en sistemas de aislamiento en caliente y en frío



Sistema caliente - El agua puede encontrarse en cualquier lugar del sistema de aislamiento.

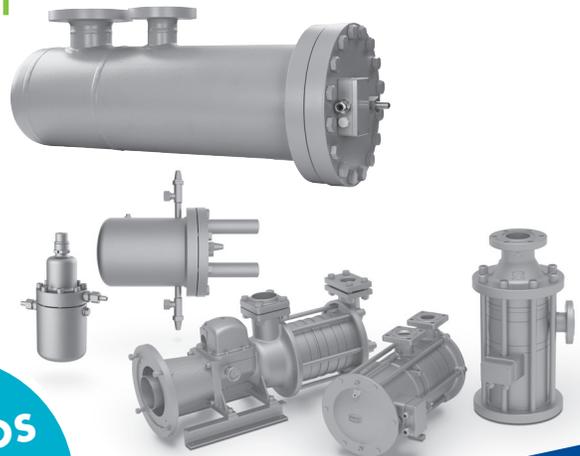


Sistema frío - El agua queda atrapada entre el retardante de vapor y el revestimiento metálico.

Sustentable Tecnología para Refrigeración



- **NRP** Bomba de refrigerante hermética para CO₂, hasta 63 bar
- **HRP** Bomba hermética para todos los refrigerantes
- **GP** Bomba de refrigerante de tipo abierto, con motor acoplado
- **HR/HS** Regulador de tipo flotador de alta presión
- **BDP** Unidad para recuperar aceite



SUS
EXPERTOS
en NH₃ y
CO₂



th-witt.com

Nuestra pasión. Nuestra experiencia. Su éxito.

revestimiento metálico sufra daños debido a factores como el granizo, el viento, el paso de personas y el apoyo de escaleras. La fuente de agua que entra en el sistema de aislamiento desde el entorno ambiente incluye la lluvia, la condensación, el rocío, la niebla, la nieve, el agua de torres de enfriamiento e incluso el rocío del mar.

Cuando el agua entra en el sistema de aislamiento, su ubicación específica dependerá de varios factores, incluyendo si hay una barrera de vapor presente en la superficie del aislamiento y la integridad de esta barrera de vapor. En las aplicaciones de alta temperatura, por lo general no hay una barrera de vapor presente y, en este caso, el agua que entre puede migrar a través de todo el sistema de aislamiento bajo la influencia de la gravedad, la temperatura y otros factores. En las aplicaciones de baja temperatura, por lo general hay una barrera de vapor que debería estar completamente intacta en la superficie exterior del aislamiento. El agua que penetre a través de las juntas del revestimiento metálico se acumulará en el pequeño espacio entre la barrera de vapor y el revestimiento metálico. Esto se muestra gráficamente en la Figura 1.

Cuando el agua penetra a través de las juntas en el revestimiento metálico, puede causar corrosión en la superficie interior del revestimiento y, en algunos casos, en la tubería/equipo. Este tipo de corrosión no es la corrosión clásica bajo el aislamiento (CUI), que se refiere a la corrosión de la tubería/equipo y es causada por el agua en contacto directo con la tubería/equipo. Tampoco se trata de la corrosión de los bordes del revestimiento metálico, que puede ocurrir con el revestimiento de acero recubierto (aluzinc, galvanizado y acero aluminizado). Debido a que este tipo de corrosión ocurre en la superficie interior del revestimiento, es muy difícil de detectar hasta que se vuelve tan grave que la corrosión penetra completamente a través del metal, dejando agujeros visibles en el revestimiento. A menudo, se asume que esta corrosión es en realidad corrosión que comienza en el exterior del revestimiento porque no se observa hasta que se forma un agujero en el revestimiento, momento en el que los dos puntos de corrosión (interior y exterior) son difíciles de distinguir.

Esta corrosión interior puede comenzar casi inmediatamente después de la instalación y llegar al punto de formar agujeros en el revestimiento en tan solo 6 meses. Esta corrosión no se puede reparar ni en sus etapas iniciales ni en el punto en el que se han formado agujeros en el revestimiento. Lo único que se puede hacer para solucionar este problema es reemplazar el revestimiento metálico, lo que supone un esfuerzo muy costoso. Como ocurre con la mayoría de las corrosiones, es mucho mejor proteger el metal desde el principio para evitar que se produzca la corrosión que intentar solucionar el problema después de que haya ocurrido. La Figura 2 muestra varias imágenes de corrosión interna del revestimiento que ha progresado hasta formar agujeros en el revestimiento.

TIPOS DE CORROSIÓN QUE CAUSAN EL DETERIORO INTERNO DEL REVESTIMIENTO DE LA SUPERFICIE

Este documento no abordará detalladamente la química de la corrosión, pero discutirá brevemente los dos tipos que pueden causar el deterioro interno del revestimiento de la superficie: la corrosión galvánica y la corrosión por picadura o en grietas.

La corrosión galvánica o de metales distintos ocurre cuando se acoplan dos metales diferentes en presencia de un electrolito. V. Mitchell Liss describe la fuente de la corrosión galvánica en los sistemas de aislamiento mecánico como "La corrosión galvánica generalmente resulta de un aislamiento húmedo con un electrolito o sal presente que permite el flujo de corriente entre metales distintos (es decir, la superficie

metálica aislada y el revestimiento exterior o accesorios)". La corrosión galvánica puede ocurrir con todos los tipos de revestimientos metálicos y es más común en aplicaciones calientes donde el aislamiento húmedo puede entrar en contacto tanto con el revestimiento como con la tubería/equipo, formando un puente entre los metales distintos. Cuando esto ocurre, el metal más activo se corroe. Por lo general, esto es el revestimiento, pero puede ser la tubería/equipo cuando se utiliza un revestimiento de acero inoxidable con una tubería/equipo de acero al carbono. La presencia de agua en el sistema de aislamiento es necesaria para este tipo de corrosión, ya que actúa como electrolito y como una excelente fuente de iones que le dan al agua su conductividad eléctrica. Una forma conveniente de describir la corrosión galvánica es que ocurre cuando dos metales distintos están acoplados en un mismo entorno.

Cabe destacar que el uso de un retardante de vapor de aislamiento eficaz elimina la corrosión galvánica entre la tubería y el revestimiento, pero no elimina la posibilidad de que ocurra corrosión por picadura o grietas en la superficie interior del revestimiento.

La corrosión por grietas y por picaduras son muy similares tanto en su química como en su resultado. Dado que no está claro si uno o ambos de estos tipos ocurren en la corrosión interna del revestimiento, se considerarán juntos como otro tipo de corrosión. La corrosión por grietas y por picaduras es una forma localizada de corrosión asociada con una solución estancada en contacto con el metal. Este tipo de corrosión puede ocurrir cuando una pequeña gota de agua queda atrapada entre la

Figura 2

Agujeros resultantes de la corrosión interna del revestimiento



superficie interior del revestimiento metálico y el aislamiento o un retardante de vapor en la superficie exterior del aislamiento. Este espacio delgado entre el revestimiento y la superficie subyacente actúa como una grieta y la humedad atrapada en esta "hendidura" puede provocar corrosión por grieta o por picadura, especialmente cuando hay cloruros presentes en el agua, como ocurre en la mayoría de las fuentes de agua ambiental. Para funcionar como un sitio de corrosión, esta "hendidura" debe ser lo suficientemente grande como para permitir la entrada del agua pero lo suficientemente pequeña como para mantener el agua estancada. Esto puede ocurrir fácilmente en el estrecho espacio entre el revestimiento metálico y el retardante de vapor. La corrosión por grietas o por picaduras puede ocurrir con revestimientos de aluminio, acero recubierto e incluso acero inoxidable. Todos los aceros inoxidables son susceptibles a la corrosión por grietas. El acero inoxidable tipo S304, comúnmente utilizado, es susceptible a la corrosión por grieta o por picadura en presencia de agua salada por encima de aproximadamente 10°C (50°F), y el tipo S316, menos común, es más resistente pero puede ser atacado si la temperatura aumenta incluso ligeramente por encima de los 10°C (50°F). La corrosión por picaduras y por grietas juntas representan quizás el 25% de todas las fallas de corrosión en acero inoxidable. La mayoría de los sistemas de aislamiento mecánico están diseñados de manera que la temperatura del revestimiento esté bastante cerca de la temperatura ambiente y NO de la temperatura de la tubería/equipo, por lo que es muy fácil superar los 10°C (50°F). Una forma conveniente de describir la corrosión por grietas o por picaduras es que ocurre cuando un tipo de metal está presente en dos microambientes conectados.

Como se ha dejado claro en esta sección, la ciencia de la corrosión ofrece una explicación de por qué puede ocurrir la corrosión en la superficie interior del revestimiento metálico. Pero ¿dónde se ha observado este tipo de corrosión? En las siguientes secciones se describirán las pruebas de laboratorio donde se puede observar esta corrosión y las instalaciones reales donde la

corrosión en la superficie interior del revestimiento metálico ha llevado a costosas reparaciones.

PRUEBAS DE LABORATORIO DE RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN LA SUPERFICIE INTERIOR DEL REVESTIMIENTO

Se realizaron pruebas de laboratorio para examinar el potencial de corrosión galvánica o de corrosión por picaduras/hendiduras en diferentes tipos de revestimientos metálicos y demostrar la eficacia de la barrera de humedad de polysurlyn (PSMB) para prevenir este tipo de corrosión.

Figura 3

Resultados de corrosión obtenidos en pruebas de laboratorio de diferentes tipos de revestimientos metálicos.



Figura 4

Resultados de corrosión en tuberías obtenidos en pruebas de laboratorio de diferentes tipos de revestimientos de acero inoxidable.



En la primera de estas pruebas, se construyó una maqueta de un sistema común de aislamiento mecánico. Se utilizó una tubería estándar de acero al carbono que fue cubierta con aislamiento de lana mineral y luego con varios tipos de revestimiento metálico, y sin revestimiento de PSMB. Cuando se utilizó revestimiento metálico con revestimiento de PSMB, se realizó una marca en forma de X en el revestimiento de PSMB para simular el daño que podría ocurrir durante la manipulación e instalación. El aislamiento de fibra utilizado en esta prueba era una forma de mantener separada la tubería y el revestimiento, al mismo tiempo que permitía que el agua salada formara un puente entre estos dos metales debido a la naturaleza fibrosa y de celda abierta de la lana mineral. El aislamiento de lana mineral se mojó con agua salada y se aplicó un potencial eléctrico inducido entre la tubería y el revestimiento para acelerar la corrosión galvánica. Cada prueba duró solo 75 minutos. Al final de este tiempo, se examinó la parte inferior del revestimiento metálico en busca de evidencia de corrosión.

En esta prueba se examinaron cuatro tipos diferentes de revestimiento metálico: aleación de aluminio 3105, acero recubierto de aluzinc, acero galvanizado y acero aluminizado. Para los cuatro tipos de metal sin revestimiento, se observó una corrosión significativa en la superficie del revestimiento que estaba en contacto con el aislamiento. En las pruebas donde se aplicó un revestimiento de PSMB al revestimiento metálico, no se encontró corrosión en el revestimiento. La Figura 3 muestra imágenes del revestimiento después de que se completaran estas pruebas.

En una segunda prueba de laboratorio, se realizó un experimento similar pero el revestimiento era de acero inoxidable y la tubería era de acero al carbono. En este caso, se esperaba que la corrosión ocurriera en la tubería. Se realizaron cuatro aplicaciones de voltaje de 75 minutos y se examinó la tubería después de estas exposiciones. Cuando se utilizaron revestimientos de acero inoxidable tipo S304 y S316 sin revestimiento, la tubería mostró una corrosión significativa. Cuando

ambos tipos de revestimiento de acero inoxidable estaban revestidos con PSMB, no se produjo corrosión en la tubería. La Figura 4 muestra las tuberías después de que se completaran estas pruebas.

Además de la observación visual de la corrosión, se determinó la pérdida de masa debido a ésta en cada tubería.

Se encontró que cuando el revestimiento de acero inoxidable tenía un revestimiento de PSMB, no se produjo pérdida de masa en la tubería subyacente debido a la corrosión. Cuando se utilizó revestimiento de acero inoxidable sin revestimiento, la pérdida de masa en la tubería fue del 3,5% para el revestimiento de acero inoxidable tipo S304 y del 2,5% para el revestimiento de acero inoxidable tipo S316. Cabe destacar que esta gran cantidad de pérdida de masa ocurrió después de solo cuatro exposiciones de 75 minutos a las condiciones de corrosión. La Figura 5 muestra este resultado de manera gráfica.

En este caso, la ciencia de la corrosión discutida previamente y las pruebas de laboratorio están de acuerdo. La ciencia muestra por qué puede ocurrir la corrosión y por qué una barrera de humedad efectiva en la superficie interior del revestimiento metálico debería prevenir este tipo de corrosión. Los resultados de laboratorio concuerdan completamente con la teoría. El revestimiento metálico sin revestimiento conduce a la corrosión en la superficie interior del revestimiento (o tubería), y el uso de PSMB evita que esta corrosión ocurra. El uso de PSMB en el revestimiento metálico protege todos los tipos de revestimiento metálico de esta corrosión y protege la tubería debajo del aislamiento de esta corrosión cuando el revestimiento es de acero inoxidable.

Si bien estas pruebas de laboratorio fueron una simulación, la diferencia entre estas pruebas de laboratorio aceleradas y la experiencia real en el campo es solo el tiempo necesario para el fallo.

RESULTADOS EN EL MUNDO REAL

En esta sección, se proporcionarán varios ejemplos del mundo real que muestran los resultados de utilizar una barrera de humedad inadecuada y cómo una barrera de humedad efectiva puede prevenir la corrosión en la superficie interior del

revestimiento. Al examinar problemas o fallas en instalaciones del mundo real, generalmente es difícil obtener información de alta calidad. Todas las personas involucradas en este tipo de problemas, incluidos los propietarios de las instalaciones, los ingenieros de diseño y los contratistas de instalación, suelen ser reacios a publicar o incluso permitir la discusión de sus problemas.

En algunos casos, incluso existen acuerdos legales que prohíben a las partes discutir los problemas. Además, cuando hay un problema o falla en el mundo real, el propietario de la instalación desea corregirlo lo más rápido posible para minimizar el tiempo de inactividad. Estos factores, junto con las muchas variables involucradas en una situación real, dificultan el análisis científico y es difícil cuantificar estos problemas o examinar cuidadosamente las soluciones. A pesar de todas estas limitaciones, aún existen ejemplos de instalaciones donde se ha producido corrosión en el revestimiento de metal en la superficie interior y se conoce suficiente información para que la discusión de la falla sea una oportunidad de aprendizaje útil.

La Tabla 2 a continuación describe seis casos del mundo real en los que se encontró corrosión en el revestimiento de metal en la superficie interior. Por razones obvias, no se utilizan nombres específicos de empresas o instalaciones. En todos estos ejemplos reales, el revestimiento de metal era de aluminio con una barrera de humedad de polikraft.

La Figura 6 muestra imágenes del mal estado de la barrera de humedad de polikraft y los agujeros de corrosión en la superficie interior del revestimiento de metal del primer ejemplo del mundo real en la Tabla 2.

Además de estos ejemplos de corrosión que ocurren realmente cuando se utiliza una barrera de humedad de polikraft, hay una observación importante relacionada. ITW Insulation Systems es uno de los principales proveedores globales de revestimientos de metal para sistemas de aislamiento mecánico y es el empleador de este autor. Vende principalmente revestimientos con PSMB y nunca han tenido una reclamación o conocimiento de un

caso de corrosión en la superficie interior cuando se utiliza PSMB en el revestimiento de metal.

Se ha demostrado que la ciencia de la corrosión, los resultados de las pruebas de laboratorio y ahora la experiencia de campo del mundo real están todos de acuerdo. La corrosión en el revestimiento de la superficie interior es un ladrón sin distinciones. Puede robarle longevidad a los sistemas de aislamiento en todas las industrias, en todas las aplicaciones, utilizando todos los tipos de aislamiento, con todos los tipos de revestimientos de metal y en todos los climas. La mejor manera de prevenir la aparición de este tipo de corrosión es utilizar una barrera de humedad efectiva como PSMB en la superficie interior del revestimiento de metal.

BARRERAS DE HUMEDAD

Existen tres tipos generales de barreras de humedad utilizadas en el revestimiento de metal en sistemas de aislamiento mecánico: pintura, polikraft y polysurlyn. La barrera de humedad pintada es una capa delgada (~18 µm, 0.7 mil) de pintura ligeramente pigmentada que se aplica típicamente en la fábrica que produce las bobinas de metal. Este tipo de barrera de humedad es común en codos preformados de dos piezas, donde es probablemente aceptable debido a la aleación de aluminio resistente a la corrosión utilizada en estos codos. El polikraft es

una capa de papel kraft laminado con una sola capa delgada de película de polietileno. Esta laminación la realiza una empresa de revestimiento de metal. El polikraft es una tecnología obsoleta e ineficaz, y tiene una resistencia al agua comparativamente pobre. La barrera de humedad de polysurlyn (PSMB) es una película gruesa de tres capas que se aplica por una empresa de revestimiento de metal y representa el estado del arte actual de la técnica en barreras de humedad.

Los ejemplos reales descritos anteriormente indican claramente que el polikraft es ineficaz y el PSMB es bastante efectivo para prevenir esta corrosión, pero ¿por qué? Para responder a esto, se deben considerar las propiedades de las diferentes barreras de humedad a la luz del principal objetivo de la barrera de humedad, que es evitar que el agua entre en contacto con la parte inferior del revestimiento de metal para reducir el potencial de corrosión.

Teniendo en cuenta esto, las propiedades clave de una barrera de humedad son:

- Agujeros pequeños: cada orificio es un lugar donde puede comenzar la corrosión.
- Es deseable los mínimos orificios y cero orificios es mejor.
- Resistencia al agua: Mantener el agua corrosiva lejos de la superficie metálica interior.
- Baja absorción de agua y de

transmisión de vapor de agua son deseables.

- Dureza/durabilidad: Una barrera de humedad dañada o deteriorada debido al manejo brusco e instalación inevitables es un lugar posible para la corrosión.
- Es deseable una película resistente, sólida, resistente a los arañazos y duradera.
- Inflamabilidad: Se prefiere una menor inflamabilidad.

La Tabla 3 muestra el rendimiento de cada tipo de barrera de humedad en estas propiedades clave.

Como demuestra la ciencia de la corrosión, las pruebas de laboratorio, los ejemplos reales y ahora las propiedades de las barreras de humedad de polysurlyn, la barrera de humedad de polysurlyn es la forma más efectiva de prevenir la corrosión en la superficie interior del revestimiento de aislamiento metálico porque:

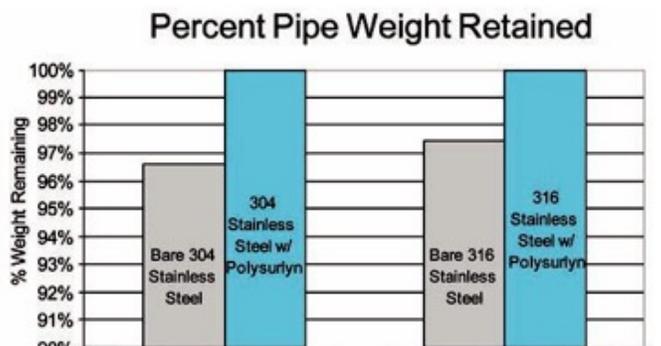
- Tiene un rendimiento comprobado.
- No tiene orificios.
- Es una película de varias capas.
- Tiene una tasa muy baja de transmisión de vapor de agua.
- Tiene una absorción de agua muy baja.
- Es resistente a los arañazos y duradera.
- Tiene una inflamabilidad muy baja.
- Tiene una excelente adherencia a los sustratos metálicos.
- Está disponible en todos los tipos de metal.
- Está disponible en muchos fabricantes de revestimiento de metal.

ACCIONES RECOMENDADAS PARA INSTALADORES Y PROPIETARIOS DE INSTALACIONES

Los contratistas de aislamiento deben minimizar el daño a la barrera de humedad durante el corte, la fabricación en campo y la instalación. Deben educar a los trabajadores sobre las barreras de humedad y su importancia. Deben adquirir revestimientos de metal solo con PSMB. Para el revestimiento de aluminio, la forma más fácil de asegurarse de que tenga un PSMB es

Figura 5

Pérdida de masa de la tubería de acero al carbono con revestimiento de acero inoxidable durante la prueba de corrosión en laboratorio.



Ejemplos reales de corrosión del revestimiento metálico en la superficie interior.

Tabla 2

Descripción de la instalación	Tipo de aplicación	Sistema de aislamiento	Tipo de clima	Observaciones de corrosión
Planta de alimentos/bebidas en FA, EE.UU.	Refrigeración con amoníaco, uso continuo	PIR con retardante de vapor ASJ	Frío	Corrosión significativa en la superficie interior del revestimiento seis años después de la instalación. Se reemplazó el revestimiento.
Cuatro plantas de energía en NE, EE.UU.	Tubería caliente, uso intermitente	Lana mineral	Frío	Corrosión significativa en la superficie interior del revestimiento.
Tres plantas de asfalto en EE.UU.	Tubería caliente, uso intermitente	Fibra de vidrio con retardante de vapor ASJ	Frío	Corrosión significativa en la superficie interior del revestimiento.
Seis almacenes de almacenamiento en frío	Refrigeración con amoníaco en la azotea, uso continuo	Tubería de poliestireno extruido (XPS) con retardante de vapor ASJ	Calor y frío	Presencia de agua entre ASJ y revestimiento. Corrosión significativa en la superficie interior del revestimiento. Se reemplazó el revestimiento.
Fábrica de equipos pesados	Agua fría, uso continuo	Celulosa de vidrio con retardante de vapor ASJ	Calor	Corrosión significativa en la superficie interior del revestimiento.
Hospital	Agua fría, uso solo en verano	Fibra de vidrio con retardante de vapor ASJ	Frío	Corrosión significativa en la superficie interior del revestimiento.

Imágenes de la corrosión real del revestimiento metálico en la superficie interior.

Figura 6



Tabla 3 Propiedades de las barreras de humedad.

Propiedad	Pintura	Polykraft	Polysurlyn
Descripción de la barrera de humedad	1 capa de $\approx 18 \mu\text{m}$ (0,7 mils) de grosor	1 capa de película de PE de $38 \mu\text{m}$ (1,5 mils) de grosor con respaldo de papel Kraft	3 capas de película de polímero con un grosor total de $76 \mu\text{m}$ (3 mils)
Agujeros pequeños por 4,6 m ² (50 ft ²) según el método ASTM C1729	>19	16	0
Resistencia al agua WVTR (g/100 in ² ·día)	Desconocida	Baja, aproximadamente 1.0	Excelente, <0.05
Resistencia	rayable fácilmente	El papel se daña fácilmente	Duradera y resistente a los arañazos
Inflamabilidad	Buena	Desconocida, pero la superficie de papel expuesta tiene una temperatura de autoignición de $\approx 232^\circ\text{C}$ (450°F)	Probado en aluminio según ASTM E84, produce una llama/humo de 0/5. La temperatura de autoignición para el polysurlyn es $>316^\circ\text{C}$ (600°F).

utilizar la nueva norma ASTM para este tipo de revestimiento y especificar que cumpla con ASTM C1729, Tipo I, Grado 1 o 2, Clase A. Por último, los instaladores deben recomendar el uso de revestimientos de metal con PSMB a especificadores, ingenieros y propietarios que desconozcan su importancia.

Los propietarios e ingenieros deben especificar revestimientos de metal solo con PSMB. Para el revestimiento de aluminio, la forma más fácil de asegurarse de que tenga un PSMB es utilizar la nueva norma ASTM para este tipo de revestimiento y especificar que cumpla con ASTM C1729, Tipo I, Grado 1 o 2, Clase A. Por último, los propietarios e ingenieros deben asegurarse de que los contratistas conozcan el PSMB y sepan minimizar el daño durante su manipulación e instalación.

CONCLUSIONES

La corrosión en la superficie interior del revestimiento metálico en el aislamiento mecánico es un problema potencial importante en todos los tipos de metal. Todos los revestimientos metálicos de aislamiento deben contar con una barrera de humedad de polysurlyn (PSMB) de $76 \mu\text{m}$ (3 milésimas de pulgada) de espesor, laminada en caliente en fábrica en la superficie interior, para proteger contra la corrosión del revestimiento en caso de ser de aluminio o acero recubierto de aluminio, y para proteger contra la corrosión de la tubería cuando se utiliza un revestimiento de acero inoxidable. El uso de PSMB es un seguro económico para prevenir la costosa alternativa de la corrosión del revestimiento.

Los instaladores y propietarios deben utilizar/especificar PSMB en la superficie interior de todos los revestimientos metálicos y minimizar los daños a la barrera de humedad durante la manipulación e instalación.

REFERENCIAS

1. V. Mitchell Liss, consultor de ingeniería de corrosión, "Preventing Corrosion Under Insulation" (Prevención de la corrosión bajo el aislamiento), Boletín de la Junta Nacional de Inspectores de Calderas y Recipientes a Presión, enero de 1988.
2. www.corrosionist.com
3. www.corrosion-doctors.org

EVAPORADORES DE REFRIGERACION VERDADERAMENTE INDUSTRIALES



En el competitivo panorama de la refrigeración industrial, Colmac Coil se enorgullece presentar sus unidades evaporadoras con altos estándares de durabilidad, funcionalidad y eficiencia. Los diseños de evaporadores de la línea A+Series® se centra en materiales de superior calidad, diseño de vanguardia y tecnologías avanzadas que brindan un rendimiento incomparable, confiabilidad y una vida útil mucho mas prolongada que los equipos comerciales con diseño Europeo



MATERIALES PREMIUM Y DURABILIDAD

- ➔ Envoltente robusto con lamina calibre 14 (1.9 mm)- vs 1.4mm diseños europeos- en Acero Galvanizado G235 y Acero Inoxidable 304L & 316 -vs G90 diseños europeos- y en Acero Inoxidable 304L & 316L.
- ➔ Certificado ASME en tuberías de acero diametros 5/8", 7/8" y 1" 304L o 316L con tubos de espesores .028 in, .035 in, o .049 in
- ➔ Aletado de aluminio 1100, aluminio con cubierta epoxica, en acero inoxidable. Variedad de espesor aleta desde 0.008 in hasta 0.030 In lisas o corrugadas

TECNOLOGIA INNOVADORA EN BANDEJA DE DESHIELO

- ➔ El diseño de triple declive de la bandeja permite un deshielo eficiente, rapido y sin riesgo de congelacion en la superficie
- ➔ Conexiones para drenaje de liquido en forma libre resultando un ciclo de deshielo mas rapido y completo
- ➔ Todas las bandejas de los equipos Colmac cuentan con material aislante en bandeja aun aquellos con deshielo por aire

TECNOLOGIA DE VANGUARDIA EN SERPENTINES

- ➔ Cada evaporador es diseñado para las exactas especificaciones de cada aplicacion unica bajo el programa de seleccion de Colmac A+Pro Software.
- ➔ Opción de motores eléctricos EC o NEMA aptos para variadores de frecuencia y ventiladores alta eficiencia con aspas angulo ajustable y reemplazables
- ➔ Evaporadores con Tecnologia Flujo de Aire Reversible para aplicaciones de congelacion o preenfriamiento
- ➔ Unidades de ultra baja carga de refrigerante tecnologia ADX® amoniaco expansion directa baja temperatura

ACCESSIBILIDAD Y LIMPIEZA

- ➔ Toda la linea de evaporadores Colmac cuenta con puerta de servicio al lado de los motores para completo acceso a la sanitizacion de la unidad
- ➔ Las laminas de la cubierta son sujetadas a traves de tuercas y tornillos. No existen uniones con remaches

Elija Calidad, Elija Confiabilidad, identifique el precio vs valor Elija la linea de Evaporadores Industriales Coil A+Series®

ASME B31.5



UL508A



UL 207



Contacte Gabriel Gutierrez para mayor informacion

✉ gabriel.gutierrez@colmaccoil.com

☎ 52 33 3110.2023 🌐 www.colmaccoil.com
52 33 3156.2750

Causas de Condensaciones Superficiales en Tuberías Aisladas

Por Jim Young /Director of Technology / ITW Insulation Systems

Traducido por: Javier Cano (INTARCON) y Lorena Hernández (ASOFRIO)

NOTA DEL EDITOR:

Además de reducir la ganancia de calor del entorno, uno de los principales objetivos del aislamiento en tuberías y equipos mecánicos que operan a temperaturas inferiores a la ambiente es prevenir la condensación en la superficie exterior del sistema de aislamiento. Evitar esta condensación superficial es algo sencillo en concepto. Simplemente se diseña el sistema de manera que la temperatura de la superficie del sistema de aislamiento se mantenga por encima de la temperatura de punto de rocío del aire circundante. Esta relación sencilla se complica porque cada una de estas dos temperaturas depende de la interrelación de una multitud de factores. Todos estos factores deben ser considerados plenamente y de manera adecuada o seleccionados para asegurar un control óptimo de la condensación superficial del sistema de aislamiento, comúnmente conocido como control de condensación.

En este sentido, se analiza la influencia de cada uno de los factores de diseño y climáticos que influyen en el control de condensación, y se hacen recomendaciones sobre cómo seleccionar o identificar el valor apropiado para cada factor. Por último, se describen algunos errores comunes, consejos y trucos relacionados para el logro del control de condensación.

CUERPO

Las tuberías, tanques, conductos, recipientes y otros equipos mecánicos que operan a temperaturas inferiores a la ambiente se aíslan por diversas razones, y una de las principales es prevenir la condensación del vapor de agua del ambiente en la superficie exterior del sistema de aislamiento. La condensación puede provocar numerosos problemas, entre ellos:

- Riesgos de seguridad cuando el agua gotea en el suelo.
- Daños en el inventario cuando el agua gotea sobre la mercancía.
- Problemas estéticos cuando el agua goteada mancha los techos.
- Daños en los materiales del sistema de aislamiento.
- Reducción de la capacidad de aislamiento del aislante (aumento del factor K).
- Reducción de la vida útil del sistema de aislamiento.
- Corrosión de la cubierta o tubería.
- Crecimiento de moho en la superficie del sistema de aislamiento o en otros materiales de construcción donde cae el agua condensada.

Debido a estos posibles problemas, la prevención de la condensación en la superficie de los sistemas de aislamiento mecánico en frío es de vital importancia. En este documento se analizarán las causas de la condensación superficial, los factores que influyen, cómo identificar las condiciones de diseño y seleccionar los componentes del sistema de manera adecuada para prevenir la condensación superficial en los sistemas de aislamiento mecánico.

A continuación se presentan varias tablas o gráficos que muestran el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación bajo diferentes condiciones. Estos espesores no se generaron mediante la experiencia, sino que se basan en cálculos comunes o modelos utilizando el método de cálculo de espesor estándar ASTM C680. Este es el método normal utilizado en la industria del aislamiento mecánico para diseñar los espesores de aislamiento. Todas las tablas o gráficos de espesor presentados asumen que las propiedades del material y las condiciones ambientales se conocen correctamente. Además, también asumen que el sistema de aislamiento funciona perfectamente y es impermeable a la penetración de agua y vapor de agua. Si bien la resistencia al agua de los diferentes componentes del sistema

es importante, especialmente en aplicaciones de tuberías frías, es un tema para otra ocasión. En este momento, no se discutirá qué materiales de aislamiento o retardantes de vapor tienen una mejor o peor resistencia al agua. Estas suposiciones sobre las propiedades del material y el rendimiento del sistema a menudo son incorrectas, pero son útiles y necesarias para el propósito de esta discusión.

Esta discusión se limitará únicamente al aislamiento para lograr el control de condensación. Otros criterios de diseño, como cumplir con los requisitos del código de energía, alcanzar límites de ganancia de calor, mantener el control de la temperatura y la protección contra el congelamiento, no se abordarán.

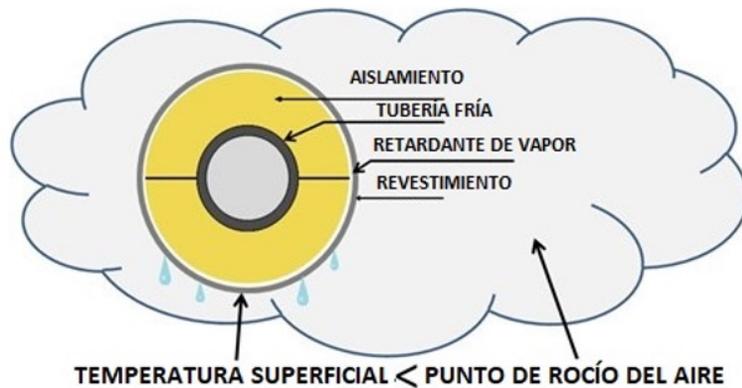
En primer lugar, se presentará la teoría de la condensación superficial, seguida de la influencia de las condiciones climáticas y los componentes del sistema en la condensación superficial. Por último, se harán recomendaciones sobre cómo seleccionar de manera adecuada las condiciones climáticas y los componentes del sistema para prevenir la condensación superficial.

TEORÍA DE LA CONDENSACIÓN SUPERFICIAL

La causa de la condensación superficial es bastante simple en

Figura 1

Causa de la condensación superficial y factores que influyen en ella.



Depende de:

Temperatura de fluido
 Espesor de aislamiento
 Conductividad térmica del aislamiento
 Tamaño de la tubería u orientación de la superficie plana
 Material del revestimiento/emisividad
 Velocidad del viento
 Temperatura ambiente

Depende de:

Temperatura ambiente
 Humedad relativa ambiente

Tabla 1

Influencia de la temperatura ambiente en la probabilidad de condensación en la superficie

Esesor de aislamiento (en pulgadas) para controlar la condensación a diferentes temperaturas ambiente *

NPS (in)	Temperatura de tubería -80 °F				Temperatura de tubería +20 °F			
	70°F	80°F	90°F	100°F	70°F	80°F	90°F	100°F
1	4	4	4	4	1.5	2	2	2
1.25	4.5	4.5	4.5	4.5	1.5	2	2	2.5
1.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2	2	2	2
2	5	5	5	5	2	2	2	2.5
2.5	5	5	5	5	1.5	2	2	2.5
3	5.5	5.5	5.5	5.5	2	2.5	2.5	2.5
4	6	6	6	6	2	2.5	2.5	3
6	6.5	6.5	6.5	6.5	2.5	3	3	3
8	7	7	7	7	2.5	3	3	3.5
10	7.5	7.5	7.5	7.5	2.5	3	3.5	3.5
12	7.5	7.5	7.5	7.5	3	3	3.5	3.5
16	8	8	8	8	3	3.5	4	4

Sin cambios de espesor

Pequeños cambios de espesor

* Aislamiento PIR, 90% HR, 7mph, $\epsilon = 0.1$, tubería horizontal

concepto. El vapor de agua en el aire se condensará en una superficie que esté por debajo de la temperatura de punto de rocío del aire circundante. Este es un tema complicado cuando se aplica a los sistemas de aislamiento mecánico porque hay muchos factores que influyen tanto en el punto de

rocío como en la temperatura de la superficie del sistema de aislamiento. La Figura 1 ilustra este concepto y enumera los diversos factores que influyen en cada componente de la ecuación. Los factores mostrados en rojo se discuten en detalle en este documento.

El diseñador del sistema debe comprender esta teoría, seleccionar las condiciones de diseño climático adecuadas, los componentes idóneos del sistema de aislamiento y luego determinar el espesor del aislamiento requerido para lograr el rendimiento deseado.

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

Temperatura ambiente

La primera condición climática que se examina por su influencia en la condensación superficial del aislamiento es la temperatura ambiente. La Tabla 1 muestra cómo se debe ajustar el espesor del aislamiento para prevenir la condensación superficial a medida que cambia la temperatura ambiente. Esto se muestra tanto para una tubería muy fría a -62°C (-80°F) como para una tubería a $-6,6^{\circ}\text{C}$ (20°F). El material de aislamiento utilizado para esta tabla es poliisocianurato (PIR), especificado según ASTM C591, Grado 2, Tipo IV. Las condiciones constantes específicas utilizadas para esta tabla fueron 90% de humedad relativa, viento de 3 m/s (7 mph), revestimiento de aluminio con una emisividad (ϵ) de 0,1 y tubería horizontal. El tamaño de la tubería, la temperatura ambiente y la temperatura de la tubería se variaron como se muestra.

Como muestra la Tabla 1, una temperatura ambiente mayor puede requerir un espesor ligeramente mayor de aislamiento para prevenir la condensación superficial, pero esta influencia es pequeña y solo se observa típicamente a temperaturas de tubería más altas. Para el diseñador del sistema, esto significa que es aceptable determinar aproximadamente la temperatura ambiente de diseño. No es necesario hacer un esfuerzo significativo para precisar esta variable de diseño. Si bien la temperatura ambiente desempeña un papel pequeño en el control de la condensación, es un factor clave en la conservación de energía y otros criterios de diseño que no se abordan en este documento.

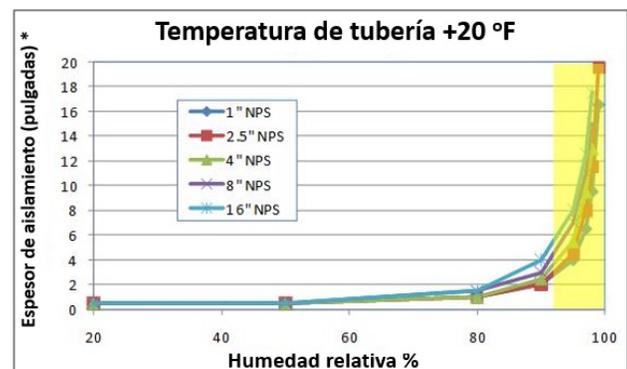
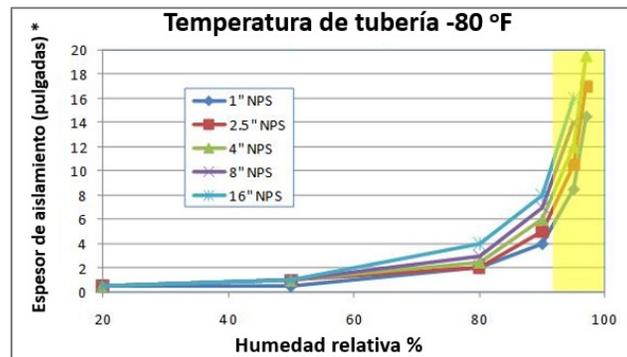
Humedad Relativa del Ambiente

La influencia de la humedad relativa del ambiente en la condensación superficial se muestra en la Figura 2, que representa gráficamente el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación superficial a medida que se cambia la humedad relativa ambiente. Esto se muestra tanto para una tubería muy fría a -62°C (-80°F) como para una tubería a $-6,6^{\circ}\text{C}$ (20°F). El material de aislamiento utilizado en estos gráficos es nuevamente poliisocianurato (PIR). Las condiciones constantes específicas utilizadas para estos gráficos fueron una temperatura ambiente de 32°C (90°F), viento de 3 m/s (7 mph), revestimiento de aluminio con una emisividad (ϵ) de 0.1 y tubería horizontal. El tamaño de la tubería, la humedad relativa ambiente y la temperatura de la tubería se variaron como se muestra.

Como se muestra en la Figura 2, la influencia de la humedad relativa en la condensación superficial es muy significativa, especialmente cuando la humedad relativa supera alrededor del 70-80%. A medida que la humedad relativa aumenta, el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación superficial también aumenta. Este efecto está presente independientemente de la sección y de la temperatura de la tubería, y es particularmente pronunciado en humedades relativas por encima del 80%. Es importante destacar que el espesor del aislamiento requerido para prevenir la condensación superficial se acerca de forma progresiva a infinito a medida que la humedad relativa se acerca al 100%. En otras palabras, diseñar un sistema para prevenir la condensación al 100% de humedad relativa requeriría el uso de un espesor de aislamiento infinito, lo cual es obviamente imposible. Como resultado de este comportamiento asintótico, por encima de una humedad relativa de alrededor del 90-95%, se requiere un espesor de aislamiento irreal y poco práctico para prevenir la condensación. Esto establece un límite práctico de diseño para la humedad relativa de alrededor

Figura 2

Influencia de la humedad relativa ambiente en la probabilidad de condensación en la superficie



* Aislamiento PIR, 90% HR, 7mph, $\epsilon = 0.1$, tubería horizontal

■ = espesores no realistas

del 90-95%.

En la Figura 2 y en muchas otras gráficas y tablas posteriores que muestran el espesor del aislamiento, se destacan secciones en amarillo para indicar "espesor irrealista". Estos son espesores de aislamiento que el propietario/ingeniero/especificador consideraría demasiado grande para ser considerado práctico en la aplicación especificada. Sin duda, habría debate sobre qué espesor se considera "no realista" y estos resaltados en amarillo no pretenden indicar un punto específico en el que el espesor del aislamiento se vuelve irrealista. Más bien, se muestran para ilustrar que existen límites prácticos que desempeñan un papel en el diseño del sistema, además de los factores teóricos que se están discutiendo.

Dado que la mayoría de los sistemas

de tuberías frías se diseñan utilizando una humedad relativa bastante alta, la influencia de este factor es de suma importancia. Considerando los cinco escenarios del sistema de aislamiento que se muestran en la Tabla 2 para el rango de humedad relativa de 80-95%, que generalmente es importante. Para cada escenario, se muestra el espesor de aislamiento requerido para prevenir la condensación superficial en función de un alto porcentaje de humedad relativa. Como muestra esta tabla, el espesor del aislamiento requerido aumenta muy rápidamente por encima del 80-85% de humedad relativa, especialmente a temperaturas de tubería más frías. Se alcanzan espesores de aislamiento impracticables en el rango del 85-95% de humedad relativa, dependiendo de la temperatura de la tubería.

Espesor del aislamiento para prevenir la condensación superficial en cinco escenarios con alta humedad relativa (% r.h.).

Tabla 2

Escenario *	80% r.h.	85% r.h.	90% r.h.	95% r.h.
AGUA FRÍA: tubería de 8" NPS a 42°F, aislamiento fenólico.	1	1	2	4
LÍNEA DE REFRIGERACIÓN: tubería de 2" NPS a 20°F, aislamiento de PIR.	1	1.5	2	4.5
LÍNEA DE ASPIRACION EN REFRIGERACIÓN CON AMONIACO - tubería de 10" NPS a -40°F, aislamiento de XPS PIB.	3	4.5	7	14
LÍNEA FRÍA DE ETILENO : tubería de 16" NPS a -100°F, aislamiento de PIR.	4	6	9	17.5
LÍNEA DE GAS NATURAL LÍQUIDO : tubería de 32" NPS a -265°F, aislamiento de PIR.	7	10	15.5	>>20

* Todos los escenarios comparten: aire a 90°F, ubicación exterior, viento de 7 mph, cubierta de aluminio con $\epsilon = 0.1$, tubería horizontal

Influencia de la velocidad del viento en el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación superficial.

Tabla 3

Escenario *	0 mph	2 mph	5 mph	7 mph
AGUA FRÍA: tubería de 8" NPS a 42°F, aislamiento fenólico.	2.5	1.5	1.5	1
LÍNEA DE REFRIGERACIÓN: tubería de 2" NPS a 20°F, aislamiento de PIR.	3	2	1.5	1.5
LÍNEA DE ASPIRACION EN REFRIGERACIÓN CON AMONIACO - tubería de 10" NPS a -10°F, aislamiento de XPS PIB.	9.5	6.5	5	4.5
LÍNEA DE GAS NATURAL LÍQUIDO : tubería de 32" NPS a -265°F, aislamiento de PIR.	>> 20	14	11	10

* Todos los escenarios comparten: aire a 90°F, 85% de humedad relativa, ubicación exterior, cubierta de aluminio con $\epsilon = 0.1$, tubería horizontal

Influencia de la emisividad de la cubierta en el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación superficial.

Tabla 4

Escenario *	Revestimiento de aluminio ($\epsilon = 0.1$)	Revestimiento de acero inox ($\epsilon = 0.3$)	Aluminio pintado ($\epsilon = 0.8$)	Revestimiento de PVC* ($\epsilon = 0.9$)
AGUA FRÍA: tubería de 8" NPS a 42°F, aislamiento fenólico.	2	1.5	1	1
LÍNEA DE REFRIGERACIÓN: tubería de 2" NPS a 20°F, aislamiento de PIR.	2	2	1.5	1.5
LÍNEA DE ASPIRACION EN REFRIGERACIÓN CON AMONIACO - tubería de 10" NPS a -10°F, aislamiento de XPS PIB.	7	6	4	4
LÍNEA FRÍA DE ETILENO : tubería de 16" NPS a -100°F, aislamiento de PIR.	9	7.5	5.5	5
LÍNEA DE GAS NATURAL LÍQUIDO : tubería de 32" NPS a -265°F, aislamiento de PIR.	15.5	12.5	9	8.5

* Todos los escenarios comparten: aire a 90°F, 90% de humedad relativa, ubicación exterior, viento de 7 mph, tubería horizontal

*Revestimiento de PVC no recomendado para uso en exteriores.

A medida que la temperatura de la tubería en una aplicación se vuelve más fría, el especificador de un sistema de aislamiento normalmente reducirá la humedad relativa de diseño o introducirá otras características de diseño, como una mayor emisividad del revestimiento, con el fin de evitar la necesidad de espesores de aislamiento poco realistas.

Velocidad del aire ambiente

En una situación de tubería fría, la temperatura superficial del sistema de aislamiento estará por debajo de la del ambiente que lo rodea. El aire aumentará la tasa de transferencia de calor y calentará la superficie del aislamiento, lo que reducirá la probabilidad de condensación superficial. La influencia de la velocidad del viento en la condensación superficial es bastante significativa, pero alcanza retornos decrecientes por encima del rango de 2,2-3 m/s (5-7 mph). La Tabla 3 muestra la influencia de la velocidad del viento en el espesor del aislamiento requerido para prevenir la condensación en varios escenarios. Como muestra esta tabla, el espesor del aislamiento requerido aumenta a velocidades de aire más bajas y es especialmente alto a velocidad de cero.

Al considerar la influencia de la velocidad del viento, es importante recordar que 0 m/s (0 mph) también es una velocidad y, en la mayoría de las aplicaciones en interiores, la velocidad del aire será efectivamente cero. En aplicaciones al aire libre, es común asumir la presencia de cierto viento en el diseño del sistema de aislamiento. Una velocidad de viento comúnmente asumida en la industria cuando no hay una razón específica para utilizar un valor más alto o más bajo es de 3 m/s (7 mph).

INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Tipo de revestimiento - Emisividad (ϵ)

La emisividad es un factor importante en el componente radiante de

Causas de Condensaciones Superficiales en Tuberías Aisladas

transferencia de calor y se define en ASTM C168 como:

"La relación entre el flujo radiante emitido por una muestra y el emitido por un cuerpo negro a la misma temperatura y en las mismas condiciones".

Esto ciertamente no es tan fácil de entender como la velocidad del viento o la temperatura ambiente, que son conceptos sencillos incluso para una persona sin conocimientos técnicos. La emisividad varía de 0 a 1, siendo los valores más bajos representativos de materiales con una capacidad comparativamente baja para transferir calor a través de la radiación, como los revestimientos de metal de aluminio o acero inoxidable, y los valores más altos representativos del rendimiento de superficies no metálicas como plástico, papel u otros materiales que suelen tener una mayor capacidad para transferir calor a través de la radiación.

Es importante tener en cuenta que la emisividad no es lo mismo que la reflectancia solar. En la reflectancia solar, el color del revestimiento es importante. Un revestimiento de plástico de color negro tendría una reflectancia solar mucho menor que un revestimiento blanco y, por lo tanto, absorbería más calor de la luz solar incidente. En la emisividad, el color del revestimiento tiene una influencia mínima. Un revestimiento de plástico negro puede tener una emisividad de 0,92, mientras que un revestimiento de plástico blanco puede tener una emisividad de 0,9, lo cual es una diferencia insignificante.

La Tabla 4 muestra la influencia de la emisividad del revestimiento en la probabilidad de condensación en la superficie. Los materiales de revestimiento con emisividad más baja, como la mayoría de los metales, generan una superficie exterior más fría, lo que hace que la condensación en la superficie sea más probable y aumenta el espesor de aislamiento requerido. Los materiales con emisividad más alta, como el papel, el plástico o la masilla, generan una superficie exterior más cálida, lo que hace que la condensación en la superficie sea menos probable. Esto

tiene un efecto obvio y significativo en el espesor de aislamiento necesario para prevenir la condensación.

No se recomienda el uso de revestimientos de PVC para aplicaciones al aire libre debido a su sensibilidad a la luz ultravioleta. Sin embargo, se incluye en la Tabla 4 solo para ilustrar el impacto en el espesor del aislamiento al utilizar revestimientos con alta emisividad. El uso de revestimientos de metal pintado en aplicaciones al aire libre es una forma a menudo pasada por alto pero excelente para reducir el espesor de aislamiento requerido al aumentar la emisividad del revestimiento.

Tipo de aislamiento - Conductividad térmica

La capacidad aislante del material de aislamiento utilizado tiene un impacto obvio y significativo en la probabilidad de condensación en la superficie y en el espesor de aislamiento necesario para prevenir esta condensación. Hay muchas formas de caracterizar la capacidad aislante, siendo la más común en la industria de aislamiento mecánico de Norteamérica la conductividad térmica (Factor K) a una temperatura media de 24°C (75°F). Esta caracterización simple es útil al hablar de materiales de aislamiento, pero no se debe utilizar

Conductividad térmica (Factor k) de varios tipos de aislamiento a una temperatura media de 24°C (75°F).

Tabla 5

Insulation Material	K-Factor* (Btu-in/hr-ft ² -°F)
Phenolic	0.15
PIR	0.19
XPS	0.259
Elastomeric Rubber	0.28
Cellular Glass	0.31

Influencia del Factor K en el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación superficial.

Tabla 6

Escenario *	Fenólico k=0.15	PIR k = 0.19	XPS k = 0.259	Caucho k = 0.28	Vidrio celular k = 0.31
AGUA FRÍA: tubería de 8" NPS a 42°F	1	1.5	2	2	2
LÍNEA DE REFRIGERACIÓN: tubería de 2" NPS a 20°F	1.5	1.5	2	2	2.5
LÍNEA DE ASPIRACION EN REFRIGERACIÓN CON AMONIACO - tubería de 10" NPS a -40°F	3	3.5	4	5	5.5
LÍNEA FRÍA DE ETILENO : tubería de 16" NPS a -100°F.	5	6	6.5	7.5	7.5
LÍNEA DE GAS NATURAL LÍQUIDO : tubería de 32" NPS a -265°F	8.5	10	10.5	13	13.5

* Todos los escenarios comparten: aire a 90°F, 85% de humedad relativa, ubicación exterior, cubierta de aluminio con $\epsilon = 0.1$, viento de 7 mph, tubería horizontal

en cálculos reales de espesor u otros cálculos de transferencia de calor. La relación a menudo complicada entre la conductividad térmica y la temperatura media requiere que cualquier cálculo de transferencia de calor se realice utilizando la curva completa y real, no solo un punto de representación de esta curva, como el valor a 24°C (75°F). Al comparar el Factor K, hay que tener en cuenta que un valor más bajo es mejor. La Tabla 5 muestra el Factor K de varios tipos de aislamiento mecánico a una temperatura media de 24°C (75°F), extraído de las respectivas normas de materiales de ASTM.

Por supuesto, existen muchas propiedades además del Factor K que deben tenerse en cuenta al seleccionar un material de aislamiento, como el coste, la resistencia al agua, la

inflamabilidad, la disponibilidad y más. No obstante, el material de aislamiento utilizado y su conductividad térmica tienen un impacto directo e importante en el espesor requerido para prevenir la condensación en la superficie y deben ser considerados al seleccionar un material de aislamiento y, sin duda, al diseñar el espesor del aislamiento.

La Tabla 6 muestra la fuerte influencia de la conductividad térmica del aislamiento en el espesor necesario para prevenir la condensación en la superficie. A medida que la conductividad térmica disminuye (mejora), el espesor de aislamiento requerido también disminuye.

Geometría del sistema: Tamaño de la tubería y orientación de la superficie plana

El último factor a discutir es la geometría del sistema. Esto se refiere a la sección de tamaño nominal de tubería en escenarios de tuberías y a la orientación de la superficie en escenarios de tanques planos o conductos. La superficie plana fría puede estar orientada verticalmente, horizontalmente hacia abajo u horizontalmente hacia arriba. La influencia de la orientación de la superficie plana es un fenómeno que a menudo se pasa por alto, lo que lleva al error de aislar todas las superficies de un tanque o conducto con el mismo espesor. En realidad, el componente convectivo de la transferencia de calor es diferente en cada una de estas orientaciones, lo que lleva a la necesidad de diferentes espesores de aislamiento para cada orientación. La diferencia en la transferencia de calor convectiva se debe al fenómeno de hundimiento del aire frío y ascenso del aire caliente, junto con la posible interferencia de este movimiento por parte del tanque o conducto. Por ejemplo, en la parte superior de un tanque o conducto, el aire frío junto a la superficie del sistema de aislamiento debería hundirse naturalmente, pero queda "atrapado" por la presencia del conducto y el sistema de aislamiento debajo de él. Esto hace que el aire frío permanezca más tiempo en la superficie del sistema de aislamiento, lo que provoca una superficie más fría y una mayor tendencia a la condensación en esta superficie. Para tener esto en cuenta, el espesor del aislamiento en esa superficie superior debe aumentarse.

La Tabla 7 muestra la influencia del tamaño de la tubería y la orientación de la superficie plana en el espesor de aislamiento necesario para prevenir la condensación. Como se puede observar, a medida que aumenta el tamaño de la tubería (NPS), también aumenta el espesor de aislamiento requerido, y este efecto es moderado y crece en importancia a temperaturas de tubería más frías. Además, se puede ver que el espesor de aislamiento requerido en las superficies planas frías es mayor en la parte superior de un tanque o

Influencia de la geometría del sistema en el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación superficial.

Tabla 7

Scenario*	1" NPS	8" NPS	32" NPS		inferior	lateral	superior
AGUA FRÍA a 42°F	1	1.5	2		1	1.5	2
LÍNEA DE REFRIGERACIÓN a 20°F	1.5	2	2.5		1.5	2	3
ASPIRACIÓN CON AMONIACO a -40°F	2	3.5	4.5		3	4	5.5
LÍNEA FRÍA DE ETILENO a -100°F	3	5	6.5		4.5	5.5	8.5
LÍNEA DE GNL a -265°F	4.5	7.5	10		7.5	9.5	14

* Todos los escenarios comparten: Aislamiento PIR, aire a 90°F, 85% de humedad relativa, ubicación exterior, cubierta de aluminio con $\epsilon = 0.1$, viento de 7 mph, tubería horizontal o superficie plana especificada.

Resumen de la influencia de todos los factores climáticos y componentes del sistema.

Tabla 8

Factor	Cambio de factor	Efecto del espesor de aislamiento	Magnitud del efecto
Temperatura Ambiente	Incrementa	Incrementa	Pequeño
Humedad Relativa %	Incrementa	Incrementa	Grande 80-95% Enorme >95%
Velocidad del aire	Incrementa	Decrece	Grande 0-5 mph
Emisividad del recubrimiento	Incrementa	Decrece	Grande
Factor K de aislamiento	Incrementa (peor)	Incrementa	Grande
Tamaño de tubería	Incrementa	Incrementa	Medio

Evaluación de los factores como útiles o perjudiciales.

Figura 3

Condiciones de diseño útiles:

- Baja temperatura ambiente
- Revestimiento de metal pintado
- Factor K bajo
- Baja humedad relativa
- Velocidad alta aire
- Tubería pequeña o fondo de tanque

Condiciones de diseño desfavorables:

- Alta temperatura ambiente
- Revestimiento de metal desnudo
- Factor K alto
- Alta humedad relativa
- Velocidad baja aire
- Tubería grande o parte superior de tanque

Ejemplos de temperaturas ambientales razonables para utilizar en el diseño del sistema

Tabla 9

Aplicación	Tª ambiente (°C/°F)
Exterior, clima desértico	48,8+ / 120+
Exterior, clima cálido	32,2-37,7 / 90-100
Exterior, clima moderado	26,6-32,2 / 80-90
Interior, planta de alimentos/ bebidas, área de procesamiento	26,6-32,2 / 80-90
Interior, edificio comercial, espacio acondicionado	24 / 75
Interior, edificio comercial, sala de máquinas	26,6-32,2 / 80-90
Interior, edificio comercial, sobre techo suspendido	24-29,4 / 75-85
Almacén refrigerado	4,4-10 / 40-50

conducto, menor en la parte inferior e intermedio en los costados del tanque o conducto.

RESUMEN DE LA INFLUENCIA DE LOS DIFERENTES FACTORES

La influencia de todos los factores se resume en la Tabla 8, que muestra tanto el efecto de cada factor en el aislamiento así como una evaluación cualitativa de la magnitud o tamaño del efecto de cada factor.

Otra forma de resumir las influencias es categorizar los factores como útiles, es decir, que reducen la probabilidad de condensación

o disminuyen el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación, o dañinos, es decir, que aumentan la probabilidad de condensación o aumentan el espesor del aislamiento necesario para prevenirla. Esto se muestra en la Figura 3.

Al examinar el impacto de una condición de diseño, también se debe tener en cuenta la MAGNITUD de este efecto. Por ejemplo, se debe prestar más atención a la humedad relativa que a la temperatura ambiente debido a que la primera tiene un efecto mucho mayor.

SELECCIÓN DE CONDICIONES DE DISEÑO Y COMPONENTES DEL SISTEMA

Temperatura ambiente de diseño

Se recuerda que se mencionó anteriormente en este documento que el impacto de la temperatura ambiente en la probabilidad de control de condensación o en el espesor del aislamiento necesario para prevenir la condensación es pequeño. Como resultado, la selección precisa de una temperatura ambiente no es muy importante. El enfoque más común y perfectamente aceptable es seleccionar una temperatura razonablemente extrema para la situación. La Tabla 9 muestra algunos ejemplos de temperaturas ambientales razonables para utilizar en el diseño de sistemas de aislamiento para diversas aplicaciones.

Por supuesto, si la eficiencia energética es un criterio de diseño separado, la selección de la temperatura ambiente es de vital importancia.

Velocidad del aire de diseño

En aplicaciones en interiores, generalmente es mejor seleccionar 0 m/s (0 mph) (sin viento) a menos que se tenga la certeza de que siempre habrá una ventilación forzada presente y proporcionando una velocidad del viento superior a cero.

En aplicaciones al aire libre, hay dos enfoques que se pueden utilizar. Se puede utilizar una fuente de referencia para obtener información climática, como el Manual de Fundamentos de ASHRAE, una base de datos en línea como weatherbase.com o un programa informático con datos meteorológicos como WYEC2 o TMY2. El problema con este enfoque es que no está claro qué tipo de valor de velocidad del viento se debe utilizar. ¿Debería ser un promedio anual, la velocidad más alta registrada, algún valor de percentil alto como el 99º, u otra cosa? Como alternativa, se puede utilizar el valor estándar de la industria de 3 m/s (7 mph), a menos que se sepa que el sistema se encuentra en una ubicación con vientos fuertes

o débiles. Ejemplos de ubicaciones donde puede ser apropiada una velocidad del viento más alta incluyen cerca de la costa del océano, debajo de puentes y en puertos de montaña. Un ejemplo de una ubicación donde puede ser apropiada una velocidad

térmica que son mejores que los publicados en las normas ASTM, y estos valores "mejores" pueden no ser verdaderamente indicativos del rendimiento a largo plazo del material.

excepciones a estas prácticas generales cuando las condiciones específicas de la aplicación requieren un tipo de revestimiento diferente. En un entorno interior donde es probable que haya un alto grado de abuso físico, como en un muelle de carga, se debe considerar el revestimiento de aluminio ($\epsilon = 0,1$). Incluso puede ser prudente utilizar un espesor mayor de revestimiento de aluminio para proporcionar una mayor resistencia al abuso físico. En un entorno interior o exterior donde habrá una exposición excesiva a productos químicos corrosivos o se requiera una resistencia especialmente alta al fuego, se debe considerar el revestimiento de acero inoxidable ($\epsilon = 0,3$).

Como se mencionó de forma breve anteriormente en este documento, en la sección sobre la influencia de la emisividad en la condensación en la superficie, el uso de metal pintado, especialmente aluminio pintado ($\epsilon = 0,8$), puede ser muy útil para reducir la probabilidad de condensación en la superficie o reducir el espesor de aislamiento necesario para prevenir la condensación en la superficie. Este beneficio del revestimiento de metal pintado se debe únicamente a su mayor emisividad en comparación con el metal desnudo. Por ejemplo, se considera la Tabla 10 que muestra el espesor de aislamiento requerido para prevenir la condensación en la superficie en una línea de refrigeración de amoníaco con revestimiento de aluminio estándar y revestimiento de aluminio pintado. El uso de revestimiento de aluminio pintado en este escenario produce una reducción de casi el 50% en el espesor de aislamiento. El revestimiento de aluminio pintado también proporciona una mayor resistencia a la corrosión del revestimiento exterior y es especialmente útil en líneas de refrigeración en la azotea que operan a temperaturas de tubería en el rango de -51 a $-6,6^{\circ}\text{C}$ (-60 a 20°F).

Si bien el uso de revestimientos con una emisividad más alta (por ejemplo, metal pintado) tiene una fuerte influencia en el espesor del aislamiento relacionado con el control de la condensación en la superficie,

Influencia del revestimiento de aluminio pintado en el espesor del aislamiento para el control de la condensación.

Tabla 10

Escenario *	Recubrimiento de aluminio ($\epsilon = 0.1$)	Aluminio pintado ($\epsilon = 0.8$)
LÍNEA DE ASPIRACIÓN EN REFRIGERACIÓN CON AMONIACO - tubería de 10" NPS a -40°F , aislamiento de XPS PIB.	7	4

* Todos los escenarios comparten: aire a 90°F , 90% de humedad relativa, ubicación exterior, viento a 7 mph, tubería horizontal.

del viento más baja es en una ubicación en la azotea donde la tubería está bloqueada de los vientos predominantes por alguna estructura sólida. Si bien es ciertamente menos preciso utilizar un único valor de 3 m/s (7 mph) como una regla general para la mayoría de las ubicaciones, este enfoque tiene la ventaja de ser simple y ampliamente utilizado.

Tipo de Aislamiento y Conductividad Térmica

Existen muchos factores que deberían influir en la selección del tipo de material de aislamiento, y uno de los factores clave es la capacidad aislante (conductividad térmica) del material. Cuando sea razonable y apropiado, se elige un tipo de material de aislamiento que tenga una mejor (menor) conductividad térmica. Una vez seleccionado un tipo de material de aislamiento o si ya ha sido especificado, se obtienen los datos de conductividad térmica para ese material de aislamiento de la versión más reciente de la norma ASTM correspondiente. Se tendrá precaución al utilizar afirmaciones de conductividad térmica por parte de fabricantes individuales. Existen muchas formas de obtener valores de prueba de conductividad

Geometría del sistema: Tamaño del tubo y orientación de superficies planas

Este no es realmente un factor que se pueda controlar durante el diseño del sistema de aislamiento. El tamaño del tubo y la orientación de las superficies planas ya se han establecido según las necesidades de la instalación. La respuesta del diseñador del sistema de aislamiento a este factor es simplemente comprender que el tamaño del tubo y la orientación de las superficies planas pueden influir en la probabilidad de condensación en la superficie y en el espesor del aislamiento necesario para prevenir esta condensación. El espesor de aislamiento requerido para cada tamaño de tubo y orientación de superficie debe determinarse de manera independiente.

Tipo de revestimiento: Emisividad (ϵ)

En la mayoría de las aplicaciones en Norteamérica, las opciones de revestimiento son sencillas. En ubicaciones exteriores se utiliza revestimiento de aluminio ($\epsilon = 0,1$) por su resistencia a los rayos UV y su resistencia mecánica. En ubicaciones interiores se utiliza revestimiento de PVC ($\epsilon = 0,9$). Sin embargo, existen

es importante destacar que un revestimiento con una emisividad más alta tiene una influencia muy pequeña en la transferencia de calor total. Por lo tanto, el uso de revestimientos con una emisividad más alta tendrá un impacto mínimo en la eficiencia energética.

Independientemente del tipo de revestimiento metálico utilizado (aluminio, aluminio pintado, acero inoxidable u otro metal), es fundamental que el revestimiento metálico tenga una barrera de humedad de polisuluro de 3 milésimas de pulgada (76 micrómetros) de espesor laminada en fábrica en la superficie interior para ayudar a prevenir la corrosión galvánica, así como la corrosión por picaduras y en hendiduras en la superficie interior del revestimiento.

Humedad Relativa

La selección de la humedad relativa adecuada para controlar la condensación en la superficie en el diseño del sistema de aislamiento mecánico es definitivamente más complicada que la selección de otros factores y también tiene la mayor influencia en el espesor necesario del aislamiento. El primer paso es distinguir entre ubicaciones en interiores y exteriores.

Humedad Relativa en Interiores

En ubicaciones interiores, la condensación en la superficie de los sistemas de aislamiento mecánico suele ser un desastre que, en el mejor de los casos, lleva a exigir al contratista que solucione el problema y, en el peor de los casos, puede resultar en demandas legales. La condensación en la superficie puede gotear sobre el suelo, creando riesgos de resbalones. Puede gotear sobre productos manufacturados, dañándolos. Puede gotear sobre alimentos, ya sea durante el procesamiento o almacenamiento, contaminándolos. Puede gotear sobre los paneles del techo, causando antiestéticas manchas de agua. Puede provocar el crecimiento de moho en la superficie del retardante de vapor,

especialmente cuando la superficie externa del retardante de vapor está hecha de papel. Puede provocar el crecimiento de moho dentro del sistema de aislamiento, especialmente cuando el material de aislamiento ofrece poca o ninguna resistencia a la absorción de agua y a la permeabilidad del vapor de agua. Esto puede conducir a una reducción de la capacidad de aislamiento del sistema, lo que empeora aún más el problema de la condensación en la superficie.

En interiores, se debe evitar la condensación en la superficie el 100% del tiempo. Esto es posible con un diseño adecuado del sistema de aislamiento, siempre y cuando el aire interior se deshumidifique y se controle a una humedad relativa muy por debajo del 100%.

La humedad relativa en ubicaciones interiores puede variar ampliamente. Se considera estos ejemplos:

- En áreas de procesamiento de alimentos/bebidas puede haber una alta humedad relativa y estar sujetas a lavados.
- Las salas de máquinas de edificios comerciales pueden tener una alta humedad relativa e incluso ventilarse con aire exterior.
- Las áreas ocultas de edificios comerciales pueden tener una humedad relativa más alta.
- Las áreas con plenum de edificios comerciales pueden tener una humedad relativa más alta.
- Las áreas de oficinas y otros espacios ocupados en edificios comerciales suelen tener una humedad relativa baja.

Las tuberías aisladas en ubicaciones interiores deben diseñarse para prevenir la condensación en la superficie a una humedad relativa muy alta en comparación con lo que es probable en esa área. Diseñar para una humedad relativa ambiente del 85% o más es completamente razonable, ya que es necesario prevenir la condensación en la

superficie el 100% del tiempo en interiores. Diseñar para una humedad relativa ambiente tan alta generalmente tiene menos impacto en el espesor de aislamiento requerido en interiores debido a la alta emisividad del revestimiento (generalmente 0.9), el tamaño de la tubería generalmente es más pequeño y la temperatura de la tubería generalmente no es muy baja, especialmente en las líneas de agua fría en edificios comerciales.

Humedad relativa exterior

El punto clave a tener en cuenta para comprender la filosofía de aislar para prevenir la condensación superficial en ubicaciones al aire libre es que es imposible prevenir la condensación superficial el 100% del tiempo. Tarde o temprano, la humedad relativa del aire exterior alcanzará el 100%, lo que requeriría un espesor de aislamiento infinito, claramente imposible, para prevenir la condensación superficial. Incluso si se diseña para una alta humedad relativa, como el 90-95% de humedad relativa, eventualmente se alcanzará una humedad relativa por encima de este límite. Esta alta humedad podría alcanzarse durante o inmediatamente después de una tormenta de lluvia, en una mañana fresca con un rocío pesado o en presencia de niebla en el ambiente. Cualquier preocupación sobre la inevitabilidad de la condensación superficial en tuberías frías al aire libre se atenúa una vez que se comprende que la condensación superficial periódica en tuberías exteriores es perfectamente aceptable. Después de todo, la superficie de la tubería se moja por la lluvia, el rocío, la niebla y la nieve. No es un problema significativo si la frecuencia de humedad superficial aumenta ligeramente debido a la condensación superficial real.

La clave para las tuberías aisladas en ubicaciones al aire libre es diseñar el sistema para prevenir la condensación superficial la mayor parte del tiempo, pero ¿cómo se debe hacer esto? Hay varios enfoques que se pueden considerar.

1) 2009 ASHRAE Handbook of Fundamentals, Capítulo 14

Este enfoque es el más complicado. El Manual Fundamentos de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), Capítulo

no son lo suficientemente severas y que permitirían la condensación superficial con demasiada frecuencia. 2) 2009 ASHRAE Handbook of Fundamentals, Capítulo 23

temperaturas criogénicas como el oxígeno líquido (-182°C/-297°F), el nitrógeno líquido (-195°C/-320°F), el gas natural licuado (GNL) (-165°C/-265°F) e incluso las líneas de refrigeración de amoníaco muy frías a -40 a -51°C (-40 a -60°F), el uso del 90% de humedad relativa genera un requisito de espesor de aislamiento para prevenir la condensación superficial que a menudo se considera poco práctico. Como ejemplo, se considera 15,5 pulgadas de espesor de aislamiento PIR requeridos en una tubería de gran diámetro de GNL para prevenir la condensación superficial al 90% de humedad relativa según la Tabla 2. Este espesor es poco práctico y nunca se utilizaría. En su lugar, el diseñador del sistema diseñaría con una humedad relativa más baja, aceptaría la consecuencia de una condensación superficial más frecuente y diseñaría otros aspectos del sistema de aislamiento para evitar daños por la condensación superficial más frecuente.

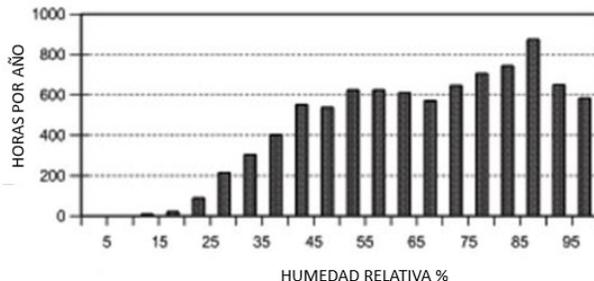
3) Enfoque recomendado para seleccionar la humedad relativa de diseño en exteriores

A menos que existan razones específicas detalladas para utilizar una humedad relativa más alta o más baja, se debe utilizar un valor en el rango del 80 al 90%. Dentro de este rango recomendado, se debe basar el valor específico seleccionado en el conocimiento del clima en el lugar de trabajo y la temperatura de la tubería. En temperaturas de tubería más cálidas, como el agua fría en el rango de 1,5 a 7,2°C (35 a 45°F), es razonable utilizar un 90% de humedad relativa. En temperaturas de tubería más frías, se deben utilizar valores más bajos de humedad relativa de diseño dentro de este rango (80-85%) para determinar el espesor de aislamiento requerido y examinar este espesor para ver si es poco práctico. Si es demasiado grueso, se deben tomar medidas para reducir el espesor de aislamiento requerido. Esto podría ser el uso de un revestimiento de mayor emisividad, como el metal pintado en lugar del metal desnudo, o podría ser

Distribución frecuencial de la humedad relativa en Charlotte, Carolina del Norte.

Figura 4

Datos típicos del año meteorológico



El 32,6% del año tiene una HR superior al 80%.

14, contiene información climática sobre condiciones extremas para numerosas ubicaciones globales. Las tablas de este capítulo incluyen el punto de rocío en el percentil 0,4 y la temperatura promedio coincidente de bulbo seco (MCDB). A partir de esta información y utilizando un diagrama psicrométrico o un programa, se puede determinar el porcentaje de humedad relativa. Sin embargo, la experiencia de campo ha sugerido a este autor que las condiciones resultantes de este enfoque no son lo suficientemente severas. Como ejemplo, se considera la información de este capítulo para Charlotte, Carolina del Norte. El punto de rocío en el percentil 0,4 es de 23,3°C (74°F) con un MCDB de -62,6°C (-80,8°F). Esto da como resultado una humedad relativa del 80%. Sin embargo se considera la Figura 4, que muestra la distribución frecuencial de la humedad relativa exterior basada en los datos meteorológicos típicos para el año en Charlotte. Como se muestra en esta figura, hay una parte muy significativa del año (32,6%) en la que la humedad relativa está por encima del 80%. Con demasiada frecuencia, este enfoque parece producir condiciones de diseño que

Este capítulo recomienda el uso del 90% de humedad relativa (r.h.) para todas las aplicaciones exteriores y las aplicaciones interiores ventiladas hacia el exterior. Esto se combina con el punto de rocío en el percentil 0,4 y, utilizando un diagrama psicrométrico, se puede determinar la temperatura de bulbo seco. Utilizando el ejemplo de Charlotte, Carolina del Norte, nuevamente, el punto de rocío en el percentil 0,4 es de 23,3°C (74°F). Al combinar esto con el 90% de humedad relativa, se obtiene una temperatura de bulbo seco de 25°C (77°F), por lo que las condiciones de diseño recomendadas según este enfoque serían de 25°C (77°F) y 90% de humedad relativa. Este enfoque pasa por alto el hecho de que el punto de rocío en el percentil 0,4 ya tiene asociada una temperatura media coincidente de bulbo seco, como se discutió en el primer enfoque. El enfoque de utilizar siempre el 90% de humedad relativa probablemente daría resultados aceptables en aplicaciones de agua fría en edificios comerciales, donde la temperatura de la tubería rara vez es inferior a 4,4°C (40°F). Sin embargo, para aplicaciones a temperaturas más frías y especialmente aquellas a

diseñado a una humedad relativa más baja con cambios correspondientes en otros aspectos del diseño del sistema, como la permeabilidad y calidad del retardante de vapor, para prevenir daños en el sistema debido a la condensación superficial más frecuente.

ERRORES COMUNES, TRUCOS Y CONSEJOS

Errores comunes en el diseño del sistema mecánico relacionados con la condensación superficial.

- Los propietarios, diseñadores de sistemas u otras personas involucradas desean diseñar el sistema de aislamiento para prevenir la condensación al 100% de humedad relativa. Este problema se manifiesta comúnmente como una solicitud de espesor de aislamiento que evite la condensación al 100% de humedad relativa. Esto no se puede lograr, ya que requeriría un espesor de aislamiento infinito. El enfoque correcto es diseñar para un rango de humedad relativa entre el 80% y el 90% en exteriores, dependiendo de varios factores descritos anteriormente, y alrededor del 85% en interiores.
- Los propietarios, diseñadores de sistemas u otras personas involucradas desean diseñar el sistema de aislamiento para prevenir la condensación el 100% del tiempo en un lugar exterior o en un interior no climatizado. Esto no se puede lograr. Tarde o temprano, la humedad relativa aumentará por encima de cualquier valor de diseño y ocasionalmente alcanzará el 100% de humedad relativa. Para lograr este objetivo de diseño imposible se requeriría un espesor de aislamiento infinito. El enfoque correcto es diseñar el sistema de aislamiento para permitir una pequeña pero no nula fracción de tiempo de condensación en la superficie y diseñar otros aspectos del sistema de manera que esta condensación superficial infrecuente pero

inevitable no dañe el sistema de aislamiento.

- Diseñar un sistema de aislamiento para condiciones de interior controladas por el clima y luego poner en marcha el sistema antes de que el edificio esté cerrado y terminado. En efecto, esto simplemente significa operar el sistema en un entorno con una humedad relativa más alta de la que el sistema fue diseñado para funcionar. La condensación en la superficie en esta situación es común y ha sido la causa de algunos fallos importantes en el sistema.
- Daños no reparados del sistema de aislamiento durante la construcción, a menudo por parte de otros oficios. Este tipo de daño casi siempre causa roturas en lo que se supone que es un retardante de vapor continuo. Si se pone en marcha el sistema sin reparar el aislamiento dañado, el vapor de agua entra rápidamente en el sistema de aislamiento y se condensa. Este es el comienzo de un círculo vicioso clásico. El agua condensada conduce a una menor capacidad de aislamiento del aislamiento (mayor/peor Factor K), lo que provoca más condensación y un Factor K cada vez peor. La entrada de agua en el sistema de aislamiento también puede causar corrosión en las tuberías y el revestimiento, crecimiento de moho, formación de hielo y pérdida de control del proceso.
- Diseñar para una humedad relativa del 50% en espacios interiores. Este nivel de humedad puede tener sentido en la parte ocupada de un edificio de oficinas si el sistema de aire acondicionado/deshumidificación puede garantizar que este valor nunca se exceda. Sin embargo, hay otras partes de un edificio comercial que pueden tener una humedad relativa más alta, como salas de máquinas, cocinas, vestuarios y salas de ducha, e incluso espacios ocultos como conductos de tuberías. Es

fundamental no asumir que la humedad siempre será inferior al 50% en estas otras partes del edificio. En instalaciones industriales ligeras, como la fabricación de alimentos y bebidas, pueden existir áreas de procesamiento con alta humedad a pesar del aire acondicionado del edificio en general o de ciertas áreas del edificio. La misma tubería puede requerir diferentes espesores de aislamiento u otros cambios en el sistema de aislamiento dependiendo de la parte del edificio en la que se encuentre.

- Utilizar una emisividad de 0,4 para el revestimiento de aluminio. Este es un error común basado en algunas especificaciones y manuales antiguos que mencionan este valor como la emisividad del revestimiento de aluminio. El uso de este valor incorrectamente alto dará como resultado un espesor de aislamiento inadecuado para prevenir la condensación superficial en las condiciones especificadas. Un valor preciso para utilizar en el revestimiento de aluminio oxidado estándar en servicio, con acabados lisos, estucados y corrugados de 3/16", es 0,1. Esta emisividad también está contenida en la nueva norma ASTM sobre revestimiento de aluminio, C1729.

Trucos útiles comunes en el diseño de sistemas mecánicos relacionados con la condensación superficial:

- Utilizar revestimiento de metal pintado para aumentar significativamente la emisividad. El aluminio desnudo tiene una emisividad de 0,1 mientras que el aluminio pintado tiene una emisividad de 0,8. Este aumento es muy grande, considerando que la escala de emisividad solo va de 0 a 1. Realizar este cambio elevará la temperatura superficial significativamente, lo que reducirá el espesor de aislamiento necesario para prevenir la condensación superficial o permitirá prevenir

la condensación superficial a una humedad relativa más alta. Este truco es especialmente útil en aplicaciones exteriores donde el metal es el tipo preferido

sistemas. Los contratistas, propietarios de instalaciones y diseñadores de sistemas de aislamiento deben buscar el soporte de estos fabricantes

- Este documento es simplemente una descripción general del impacto de varios factores en la probabilidad de condensación superficial y no pretende reemplazar el diseño adecuado del sistema por parte de un ingeniero experimentado en aislamiento mecánico en superficies frías. El diseño del sistema de aislamiento tiene muchas sutilezas que no se abordan en esta revisión más simplista.

Figura 5 Factores que influyen en la condensación superficial

TEMPERATURA SUPERFICIAL < PUNTO DE ROCÍO DEL AIRE

Depende de:

Temperatura de fluido
Espesor de aislamiento
Conductividad térmica del aislamiento
Tamaño de la tubería u orientación de la superficie plana
Material del revestimiento/emisividad
Velocidad del viento
Temperatura ambiente

Depende de:

Temperatura ambiente
Humedad relativa ambiente

CONCLUSIONES

La condensación superficial en los sistemas de aislamiento para equipos mecánicos fríos (tuberías, tanques, recipientes, etc.) es un concepto sencillo. La condensación superficial ocurre cuando la temperatura de la superficie del sistema de aislamiento es inferior a la temperatura de punto de rocío del aire circundante. Esta relación sencilla se vuelve complicada debido a que cada una de estas dos temperaturas depende de la interrelación de una multitud de factores, como se muestra en la Figura 5.

Todos estos factores deben ser considerados o seleccionados de manera completa y adecuada para garantizar un control óptimo de la condensación superficial en el sistema de aislamiento, comúnmente conocido como control de condensación.

De todos estos factores, la selección de la humedad relativa adecuada para el diseño del sistema es la más importante y también la más complicada de manejar.

Un último, pero muy importante punto a enfatizar es que, en aplicaciones al aire libre, la condensación superficial no se puede evitar el 100% del tiempo.

REFERENCIAS

- 1 J. Young, "Preventing Corrosion on the Interior Surface of Metal Jacketing", *Insulation Outlook*, Noviembre, 2011.
- 2 ASHRAE 2009 Handbook of Fundamentals, Capítulo 23, p. 3

de revestimiento. Aunque no se practica ampliamente en aplicaciones criogénicas, es un truco que los ingenieros y otros diseñadores de sistemas deberían considerar al diseñar sistemas de aislamiento para prevenir la condensación superficial en tuberías y otros equipos mecánicos que operan a temperaturas criogénicas. El revestimiento de aluminio pintado tiene la ventaja adicional de ser más resistente a la corrosión que el revestimiento de aluminio estándar (desnudo).

Consejos relacionados con la prevención de la condensación superficial en sistemas de aislamiento mecánico.

- Los contratistas, propietarios de instalaciones y diseñadores de sistemas de aislamiento deben trabajar con fabricantes que comprendan los complejos problemas de diseño descritos en este documento.
- Algunos fabricantes de aislamiento saben tanto o más sobre algunos aspectos del diseño de sistemas de aislamiento que las personas encargadas de diseñar estos

conocedores al seleccionar condiciones de diseño adecuadas y al diseñar el sistema de aislamiento, pero también deben educarse sobre estos problemas para evaluar adecuadamente las recomendaciones del fabricante.

- Al comparar materiales de aislamiento, comparar tablas de espesor de aislamiento o preparar nuevas tablas de espesor de aislamiento, es muy importante utilizar las mismas condiciones para todos los materiales. Incluso un cambio aparentemente pequeño, como un fabricante que utiliza una emisividad de aluminio de 0,4 mientras que otro utiliza el valor correcto de 0,1, puede tener un impacto significativo en el espesor recomendado/calculado del aislamiento.
- Si bien este documento se ha centrado únicamente en el control de la condensación, recuerde que este es solo un criterio de diseño. Hay muchos otros criterios de diseño posibles, incluido el cumplimiento de códigos, el control de procesos, la eficiencia energética, la protección personal y la protección contra incendios.