

Boletín Técnico

Barreras de Vapor en Hornos Petroquímicos para protección química.

1. Introducción
2. Descripción del problema
3. Mecanismos de ataque químico
4. Caso típico de ataque químico y reacción con el hierro
5. Barreras de vapor: materiales, espesores y selección
6. Cálculo y ubicación de la barrera en el aislamiento
7. Referencias API relevantes
8. Ilustración(es) sobre barreras de vapor
9. Conclusiones



Ejemplo genérico del uso de una barrera de Vapor

1. Introducción

La presencia de **humedad y vapores corrosivos bajo aislamiento térmico** en equipos de proceso, como los hornos petroquímicos, genera un fenómeno conocido como **corrosión bajo aislamiento (CUI: Corrosion Under Insulation)**. Este tipo de ataque químico afecta la integridad mecánica de las carcasas metálicas de hornos y calentadores y puede causar fallas prematuras, pérdidas de producción y riesgos de seguridad si no se controla adecuadamente.

El uso de **barreras de vapor** es una estrategia de diseño esencial para **prevenir la entrada de humedad o condensados hacia el metal base a través del aislamiento**. El presente informe analiza el problema, los mecanismos de ataque, materiales y métodos de diseño para barreras de vapor en hornos petroquímicos.

2. Descripción del Problema

2.1 ¿Qué es la Corrosión Bajo Aislamiento (CUI)?

La **corrosión bajo aislamiento (CUI)** es un tipo de corrosión localizada que ocurre cuando **humedad, condensados y agentes corrosivos quedan atrapados entre la superficie metálica y el aislamiento térmico**, sin posibilidad de drenaje o ventilación apropiada. Esto incluye ambientes donde se condensan vapores de agua con gases agresivos como **SO_x, NO_x o compuestos ácidos formados por combustión de combustibles con azufre**.

En hornos petroquímicos, las paredes externas de la carcasa metálica suelen estar cubiertas por varias capas de aislamiento y protección; sin embargo, si el aislamiento no posee una **barrera de vapor apropiada**, el agua condensada puede permanecer en contacto con el metal durante ciclos de operación térmica y enfriamiento, **acelerando la corrosión**.

2.2 Consecuencias

- Pérdida de espesor de metal.
 - Degradación de la capacidad mecánica del horno.
 - Formación de picaduras y grietas localizadas.
 - Riesgo de fallas catastróficas y tiempos de inactividad.
-

3. Mecanismo de Ataque Químico

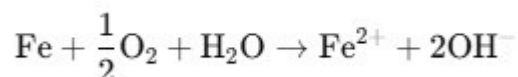
3.1 Formación de Condensados y Agentes Corrosivos

Los vapores de combustión de hornos son ricos en **agua y subproductos ácidos**, particularmente cuando se utilizan combustibles con contenido de azufre. Estos vapores pueden condensarse al bajar la temperatura superficial de las paredes del horno en puntos del aislamiento.

Cuando el vapor de agua condensado se combina con contaminantes como **dióxido de azufre (SO₂)**, **dióxidos de nitrógeno (NO₂)** u otros gases ácidos, se forman soluciones líquidas corrosivas. Estos **electrolitos húmedos facilitan la reacción electroquímica del metal** de la carcasa, acelerando la corrosión.

3.2 Reacción Química con el Hierro

El reactivo principal es el **agua líquida** (o film húmedo) que disuelve oxígeno, iones de cloruro y contaminantes. La corrosión del hierro se explica clásicamente por la reacción:



En presencia de iones cloruro u ácidos, estos productos pueden acelerar la corrosión localizada y generar picaduras profundas. En ambientes ricos en humedad, la corrosión localizada puede superar rápidamente el daño uniforme simple.

4. Caso Típico de Ataque Químico

4.1 En Hornos Petroquímicos

Un caso común es cuando el **contenido de azufre del combustible supera cierto umbral**, generando ácido sulfúrico en presencia de agua condensada. Este ácido es particularmente agresivo con el acero al carbono utilizado en la carcasa de los hornos.

La **API Standard 560: Fired Heaters for General Refinery Service** especifica que cuando el contenido de sulfuro excede **500 ppm (por masa)**, debe colocarse **barrera de vapor de tipo foil de acero inoxidable 304** para prevenir que la condensación y los productos corrosivos alcancen la superficie metálica. Además, esta barrera debe ubicarse de modo que la temperatura **exterior permanezca al menos 100 °F (≈ 37 °C) por encima del punto de rocío ácido calculado** en todos los casos de operación.

5. Barreras de Vapor: Materiales y Espesores

5.1 Materiales Comunes

1. **Lámina de acero inoxidable (SS 304/316) tipo foil**
 - Alta resistencia a corrosión y durabilidad térmica.
 - Recomendado cuando hay presencia de gases ácidos o contenido de azufre elevado.
2. **Láminas de aluminio o aluminio foil con polietileno**
 - Funcionan como barreras físicas para el vapor .
 - Suelen usarse en aislamiento térmico multi-capa..
3. **Polymeric barriers coextruded with metal.**
 - Laminados (foil + LDPE/HDPE) con baja permeabilidad al vapor .
 - Típico espesor de barrera total: 1,5 mm (foil + capa polimérica).

5.2 Espesores y Performance

- Espesor de lámina metálica: típicamente **0,05 mm a 0,2 mm** para foil metálico de barrera.
- Barrera total (metal + polímeros): hasta **1,0 – 1,5 mm** para asegurar barrera eficaz contra vapor y presión.

Nota: Los espesores deben seleccionarse en función de **temperatura de operación, difusión de vapor, compatibilidad química y rigidez mecánica**.

6. Cálculo de Ubicación de la Barrera de Vapor

6.1 Consideraciones Térmicas

Una barrera de vapor se ubica **entre la superficie metálica y el aislamiento térmico principal**, o directamente **aplicada sobre el metal base antes del aislamiento**. Su propósito es **minimizar la conducción de humedad desde el ambiente hacia la superficie metálica caliente**.

6.2 Criterio Típico (API 560)

Para el diseño de barreras en hornos, API 560 especifica que la barrera se debe ubicar de tal forma que **la superficie donde se ubica mantenga una temperatura ≥ 100 °F (≈ 37 °C) por encima del punto de rocío ácido bajo todas las condiciones de operación**.

Formula Simplificada para Distancia de Barrera

Aunque no existe una fórmula universal única, el criterio es:

$$T_{\text{barrera}} = T_{\text{p.rocio}} + 37^{\circ}\text{C}$$

Donde:

- T_{barrera} : es la temperatura en la superficie del metal donde reposa la barrera de vapor.
- $T_{\text{punto de rocío ácido}}$: se calcula en función de **composición de gases de combustión y contenido de agua**.

La distancia efectiva desde el metal depende de la **conductividad térmica de los materiales del aislamiento**, y se obtendrá mediante análisis térmico detallado (por ejemplo, resistencia térmica acumulada de cada capa).

6.3 - Punto de rocío de los principales gases corrosivos en hornos petroquímicos

Resumimos aquí los principales gases corrosivos presentes en hornos petroquímicos, especialmente derivados del azufre y del nitrógeno, y sus puntos de rocío ácido aproximados. La condensación de estos compuestos sobre superficies metálicas es una de las causas más relevantes de corrosión externa de carcasas, motivo por el cual se instalan barreras de vapor.

| Especie química | Producto de condensación | Punto de rocío aproximado (°C) | Observaciones técnicas |
|---|---|--------------------------------|--|
| SO ₃ (Trióxido de azufre) | H ₂ SO ₄ (ácido sulfúrico) | 115 – 150 | Principal responsable de corrosión por punto de rocío ácido. Depende de SO ₃ y humedad. |
| H ₂ SO ₄ (fase vapor) | H ₂ SO ₄ (líquido) | 100 – 150 | Altamente corrosivo; puede condensar a temperaturas elevadas. |
| SO ₂ (Dióxido de azufre) | H ₂ SO ₃ / oxidación a H ₂ SO ₄ | < 100 | Corrosividad indirecta; se vuelve crítico al oxidarse a SO ₃ . |
| NO ₂ (Dióxido de nitrógeno) | HNO ₃ (ácido nítrico) | 30 – 60 | Condensación a temperaturas moderadas; corrosivo para aceros al carbono. |
| HNO ₃ (fase vapor) | HNO ₃ (líquido) | 50 – 60 | Ataque químico severo en presencia de humedad. |
| HCl (Cloruro de hidrógeno) | HCl (líquido) | ≈ 42 | Muy agresivo incluso a baja temperatura, frecuente con compuestos clorados. |

Notas técnicas

- Los valores indicados son rangos típicos utilizados en ingeniería de hornos y calderas.
 - El punto de rocío ácido real depende de la presión parcial del ácido, del contenido de vapor de agua y de la composición total de los gases.
 - **En diseño conservador, se recomienda mantener la temperatura de la carcasa y de la aislación externa por encima del punto de rocío ácido más alto esperado (generalmente el del ácido sulfúrico).**
-

7. Referencias API y Normativas Relacionadas

API Standards relevantes

| Norma API | Aplicación principal |
|-----------------------------|---|
| API Standard 560 | Diseño y especificaciones de hornos de proceso (<i>Fired Heaters</i>) en servicios generales de refinería; incluye criterios para vapor barrier cuando existe alto contenido de azufre. |
| API RP 583 | Práctica recomendada para corrosión bajo aislamiento y fireproofing ; guía para selección de materiales y diseño de sistemas de aislamiento para mitigar CUI. |
| API 510 / API 570 / API 574 | Inspección y gestión de integridad de recipientes y tuberías bajo aislamiento. |

ASTM complementarias

- **ASTM C1136, ASTM E96** para medición de permeabilidad al vapor y características de barrera.
-

8. Ilustraciones y ejemplos:

8.1: Ejemplo de barrera de vapor en una aislación de **fibra cerámica “multicapa”** (una capa de fibra encima de otra).

Materiales:

Manta cerámica de 8 lb/pie³ de 1 “

Manta cerámica de 8 lb/pie³ de 2 “

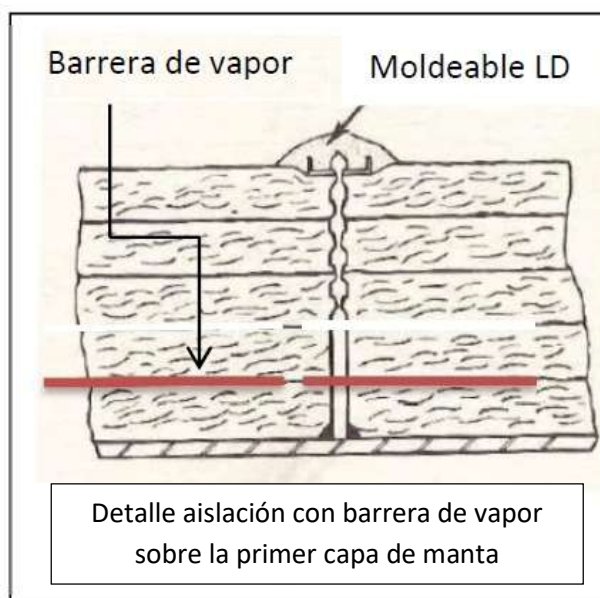
Manta cerámica de 4 lb/pie³ de 1 “

Foil de aluminio de 60 micrones, 95 kg

Rendimiento foil : 6.2 m²/kg.



Anclaje AISI 310, “dentado”



8.2: Ejemplo de barrera de vapor en una aislación de **fibra cerámica “modular”** (o sea con módulos de fibra cerámicas pre-fabricados).

Materiales:

Manta cerámica de 8 lb/pie³ de 1 “

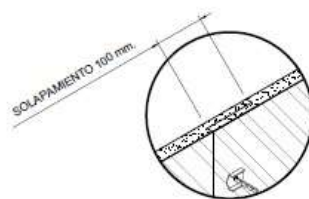
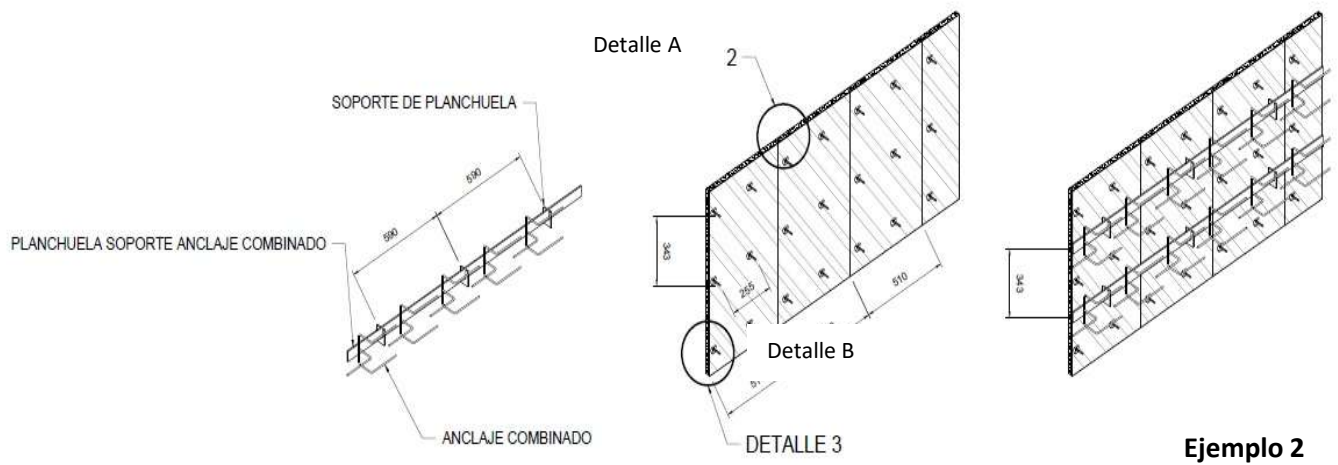
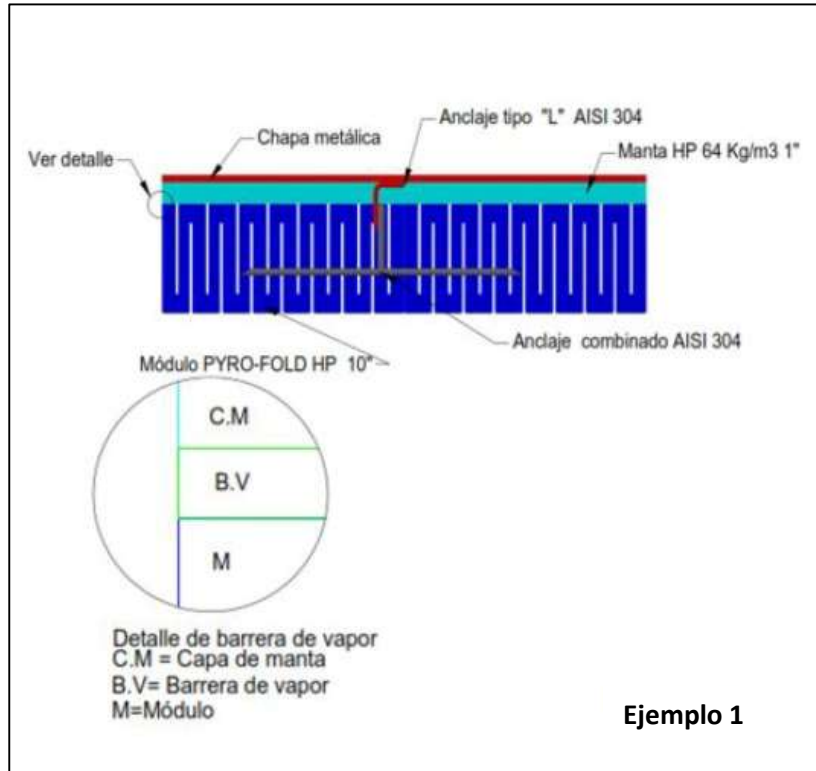
Módulos de fibra cerámica de 10 lb/pie³ de X “

Foil de aluminio de 60 micrones, 95 kg

Rendimiento foil : 6.2 m²/kg.

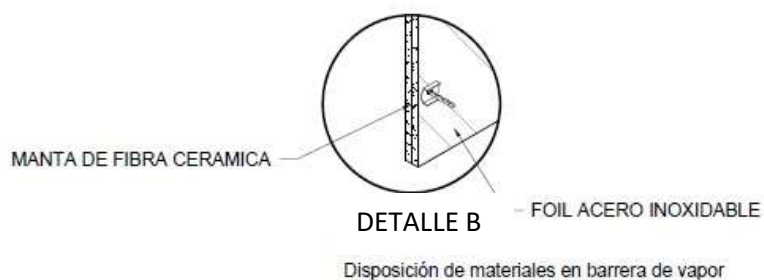
Ubicación barrera de vapor: Puede ubicarse encima de la capa de manta, antes de instalar el módulo (ejemplo 1). Otra alternativa (dependiendo el tipo de gases) , es que se instale por encima del módulo (ejemplo2).

Notar que el modulo tiene un tipo de anclaje (combinado) y la barrera de vapor un anclaje tipo serrucho. Ambos en AISI 304.

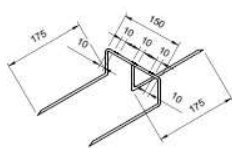
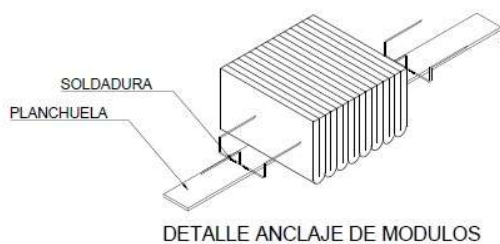


DETALLE A

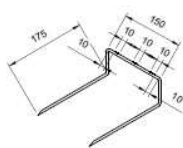
Solapamiento de manta en barrera de vapor



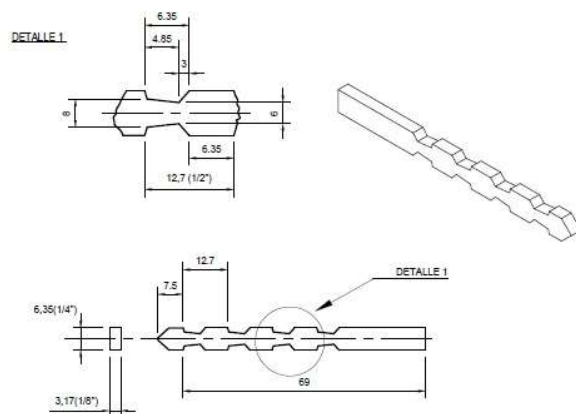
SISTEMA DE ANCLAJES PARA MODULOS Y BARRERA DE VAPOR



ANCLAJE COMBINADO LARGO Ø 1/4"
MATERIAL: AISI 304
SIN ESCALA



ANCLAJE DOBLE LARGO Ø 1/4"
MATERIAL: AISI 304
SIN ESCALA



ANCLAJE ENTADO 2"
MATERIAL: AISI 304
SIN ESCALA

9. Conclusiones

- La **corrosión bajo aislamiento (CUI)** es un riesgo crítico para hornos petroquímicos debido a humedad, condensados corrosivos y ciclos térmicos.
- El **diseño de barreras de vapor** con materiales adecuados y ubicación térmica crítica es esencial para prevenir el ataque químico.
- Las **normativas API (especialmente API 560 y API RP 583)** proporcionan criterios técnicos para diseño, instalación y mantenimiento.
- La selección de materiales (acero inoxidable foil, laminados metálicos/poliméricos) debe considerar **permeabilidad al vapor, compatibilidad química y temperaturas de operación**

Soluciones Refractarias SRL, no solo provee los mejores productos refractarios y aislantes, diseña los perfiles adecuados, realiza los cálculos térmicos, sino que también brinda el servicio de instalación profesional completo de los mismos, finalmente puede hacer el secado completo siguiendo una curva prefijada.

Nuestra WEB : www.solucionesrefractarias.com.ar

Nuestras Redes : <https://taplink.cc/solucionesrefractarias>

Consúltenos en : info@solucionesrefractarias.com.ar

Links relacionados:

[Cálculos Térmicos](#)

[Servicio de Instalación de Refractarios:](#)

[Servicio de Secado Convectivo de refractarios:](#)

[Productos específicos para AISLACIÓN :](#)

Nota: El presente informe tiene el propósito de mostrar todos los aspectos y la complejidad del tema tratado. No debe ser tomado literalmente para decisiones de valores finales sobre el alcance del informe. En caso de cálculo o decisiones particulares, recomendamos consultar específicamente.

Todos los aspectos concentrados en un único lugar, nuestro espacio !!!!

