

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**MANUAL PARA LA SELECCION E INSTALACION**  
**DE AISLAMIENTO TERMICO**

271

**MIGUEL PADILLA CAPISTRAN**

**INGENIERO QUIMICO**

**1 9 7 5**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS Tesis

ADQ \_\_\_\_\_

FECHA 1975

PROC. H-257



QUIMICA

JURADO:

PRESIDENTE: I.Q. Roberto Andrade Cruz.

VOCAL: I.Q. Cutberto Ramírez Castillo.

SECRETARIO: I.Q. Vladimir Estivil Riera.

1er. SUPLENTE I.Q. Julio Langrave Romero.

2o. SUPLENTE I.Q. Eduardo Vergara Cabrera.

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Aislamientos y Construcciones, S.A.

SUSTENTANTE: Miguel Padilla Capistrán.

ASESOR DEL TEMA: I.Q. Roberto Andrade Cruz.

CON AMOR

A MIS PADRES

MAGDALENA Y MIGUEL

A LA MEMORIA DE MI HERMANO

ENRIQUE

A mis compañeros y amigos,

especialmente

Roberto Ricalde,

Santiago Arevalo y

Eduardo Arevalo.

A mis primos

Samuel, Salvador y Nacho.

## CONTENIDO

2000  
3

	Pag.
INTRODUCCION	1
1.- GENERALIDADES	5
2.- TRANSMISION DE CALOR A TRAVES DE SUPERFICIES PLANAS Y CILINDRICAS	8
3.- CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE AISLAMIENTOS TERMICOS	27
4.- SELECCION DEL MATERIAL AISLANTE Y DETERMINACION DE SU ESPESOR.	77
5.- ESPECIFICACION DE INSTALACION	112
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
APENDICE	166
BIBLIOGRAFIA	184



# INTRODUCCION

En la industria química en general, las pérdidas o ganancias de calor han adquirido una relevante importancia tanto en el diseño de equipo como en la operación, seguridad y costos de operación.

Debido a esto, el objetivo final de este trabajo es proporcionar al Ingeniero Químico la información práctica necesaria, empleando los métodos y el lenguaje de uso en la industria, clasificando todos los tipos de materiales aislantes comerciales existentes en nuestro medio y proporcionando las relaciones, tablas, gráficas, monogramas, etc., para la selección del material aislante adecuado y la determinación del espesor de éste; así como, las especificaciones de instalación de los diferentes tipos de aislantes para lo cual se ha hecho una clasificación de sus propiedades y usos más comunes en cada caso dejando establecida la bibliografía adecuada y conducente para tratar cualquier caso o sistema de aislamiento térmico por muy complicado que éste sea.

Se presenta un análisis que va desde una breve reseña de la aparición y evolución de los materiales aislantes, en donde se hace resaltar su importancia en la industria y su repercusión en ella; un repaso del fenómeno de transferencia de calor orientado al tema, concluyendo y recomendando en función de casos reales.

# GENERALIDADES

1

Es indudable que el desarrollo de la industria de nuestro país en los últimos años ha sido de grandes proporciones. La evolución se ha manifestado en el empleo de nuevos sistemas de producción, que requieren de temperaturas diferentes a la ambiental éstas obtenidas en forma artificial.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, es muy importante conservarla el mayor tiempo posible, ya que el lograr dichas condiciones artificiales de temperatura representa una gran parte del costo de producción.

Un material aislante es un auxiliar valioso para conservar ese algo caliente o frío en los diversos procesos industriales, en todos los cuales, el aislamiento de las instalaciones calientes o frías evita una verdadera fuga de dinero; o sea, el equipo una vez aislado, seguira necesitando un suministro de energía pero en cantidad mucho menor. Al necesitar menor e

nergía, disminuye la inversión en equipo y en consecuencia el costo de operación.

Ahora bien ¿ Qué es un material aislante ?

Sabemos que el calor es una forma de la energía y que al igual que la luz o la electricidad, se transmite con mayor facilidad a través de determinados materiales o medios y fluye con dificultad en otros. Pues bien, los materiales que presentan gran resistencia al paso del calor se denominan materiales aislantes.

Es importante hacer notar que así como no hay un conductor perfecto, es decir, un material a través del cual fluye todo el calor sin encontrar obstáculo, tampoco existe un material aislante perfecto, es decir, ningún material detiene por decirlo así, totalmente el paso del calor.

Un material aislante es resistente al paso del calor a través de su cuerpo debido a que tiene en su interior multitud de celdillas de aire ú otro gas en reposo. Estas celdillas contienen un volúmen de aire o gas en reposo tan pequeño, que al llegar a ellas la acción del calor no provoca el fenómeno de convección en su interior, limitando en esta forma, la facilidad al paso del calor de una cara a otra del aislamiento.

Los equipos que están siendo calentados, simultáneamente están perdiendo parte del calor que se les es

ta suministrando, cediéndolo al ambiente que los rodea y qué está a menor temperatura. En los equipos fríos - el caso es similar, sólo que éste tenderá a ganar calor del ambiente en vez de perderlo. El uso en éstos - casos de materiales aislantes, reduce las pérdidas o ganancias de calor al mínimo, sin evitarlas completamente pues resulta física y económicamente imposible.

En resumen, las ventajas obtenidas mediante el uso de un material aislante son las siguientes:

- 1) Para la conservación de altas temperaturas:
  - a) Seguridad para el personal.
  - b) Uniformidad de temperatura en el proceso.
  - c) Menor inversión en equipo, ya que al aumentar la eficiencia de su trabajo, un equipo de menores dimensiones y menor costo, puede realizar el mismo trabajo que uno de mayor capacidad trabajando sin aislamiento.
  - d) Menores gastos de combustible.
  - e) Mayor comodidad.
- 2) En el caso de usos industriales de bajas temperaturas y de refrigeración.
  - a) Seguridad para el personal
  - b) Uniformidad de temperatura en el proceso.
  - c) Menor inversión en equipo.
  - d) Menores costos de operación.

Las primeras noticias que se tienen acerca del uso de los aislamientos térmicos, fueron los que se usaron en las primeras estaciones generadoras de vapor para turbinas generadoras de electricidad, las que trabajaban con vapor de 21°C (70°F) de sobrecalentamiento a una presión de 170 lb/in<sup>2</sup> manométricas. El fin principal de éstos aislamientos fué el de protección al personal y no con fines económicos.

En la segunda mitad del siglo pasado y a principios de éste, los aislantes térmicos eran en su mayoría productos naturales, por ejemplo: Para aislar temperaturas mayores que la ambiente, se usaban fibras vegetales, cáscaras de semillas y materiales similares formados en colchonetas con alguna cubierta. Para altas temperaturas, fueron usados cementos aislantes, (mezclas de arcillas, fibras de yute, paja y cabello que les daban buena resistencia mecánica, una de las mejores mezclas fueron las de lana de oveja y cemento), ceñidos a la superficie y cubiertas con manta como vendaje.

A temperaturas bajas, fueron usados el corcho y el aserrín.

Por el año de 1916 fueron descubiertas las propiedades térmicas de la magnesia (óxido de magnesio) que fué ampliamente usado para temperaturas relativamen

te altas. Este material a pesar de algunas fallas, fué el único, con excepción de los cementos, apropiado para aislar temperaturas hasta de 315° C. (509°F). Al principio era usado como emplasto pero más tarde fué moldeado en placas y en medias cañas. No obstante, los procesos industriales tenían muy pocos aparatos que operaran a temperaturas más allá de ese punto.

Sin embargo, los procesos que requieren altas o bajas temperaturas se han venido sucediendo simultáneamente y se incrementan sin un límite a la vista.

Al mismo tiempo, muchos materiales desde entonces han aparecido en escena, algunos brevemente, otros han perdurado, y algunos otros han sido muy eficientes pero costosos, todos ellos han probado el hecho de que el aislamiento ocupe ahora un lugar prominente tanto en el diseño como en la operación de una planta que trabaja con temperaturas que no son la ambiental.

# TRANSMISION DE CALOR A TRAVES DE SUPERFICIES PLANAS Y CILINDRICAS

2

Es ya de todos conocido que el calor es una forma de energía, generada cuando las moléculas que componen la materia se ponen en movimiento; y que la temperatura es una medida de la intensidad de calor sin que ésta, determine la cantidad de calor de un cuerpo, por ejemplo: dos cuerpos pueden tener la misma temperatura pero diferentes cantidades de calor debido a diferencias en sus propiedades físicas y químicas.

Como se ha mencionado, todos los cuerpos sin excepción transmiten el calor, unos con mayor facilidad que otros ya sea entre las moléculas de un cuerpo o entre distintos cuerpos estableciéndose corrientes de calor que tienden al equilibrio cuando existe una diferencia de temperaturas ó gradiente.

Siendo el calor una de las formas de energía vibrante, está sujeto a la ley del movimiento ondulatorio. Por lo tanto puede ser reflejado, refractado o transmitido por diferentes materiales. Siendo distinto



el comportamiento de la materia se puede modificar la transmisión de calor al pasar de una a otra.

La transmisión de calor se efectúa en tres mecanismos diferentes:

- a) Por conducción; es decir, movimientos vibratorios moleculares transmitidos a través de los sólidos, que son función de la conductividad térmica de los mismos.
- b) Por convección, proceso en el cual la transmisión de calor se efectúa por transporte de partículas calientes hacia zonas frías debido a los cambios de densidad. Este proceso se verifica en líquidos y gases.
- c) Por radiación, el calor se transmite de un cuerpo a otro por movimiento ondulatorio.

Se cree que la energía radiante, se origina dentro de las moléculas del cuerpo radiante, los átomos de éstas moléculas vibran con un movimiento armónico simple como oscilaciones lineales; donde la emisión de energía radiante representa una disminución en las amplitudes de vibración dentro de los átomos, mientras que una absorción de energía representa un aumento. En esencia, la teoría de los "Cuantos" postula que para cada frecuencia de radiación hay una pequeña pulsación, cantidad mínima de energía que debe emitirse. Este es

el "Cuanto", no pudiéndose emitir una cantidad menor, - pero si múltiplos de ésta cantidad mínima. La cantidad total de energía emitida por una determinada frecuencia de un cuerpo es un número entero de "Cuantos" a esa frecuencia.

La transferencia de calor por radiación no requiere la intervención de un "Medio" y como consecuencia el calor puede ser transmitido a través del vacío absoluto. Sin embargo al entrar en contacto con un cuerpo, sucede cualquiera de los tres fenómenos siguientes:

- 1) Reflexión, al llegar la energía radiante a un cuerpo, parte de la energía la absorbe y parte la rechaza.
- 2) Transmisión, hay cuerpos como el cristal, en donde la energía radiante pasa a través de ellos casi en su totalidad.
- 3) Absorción, la parte de energía que absorbe un cuerpo cuando la energía radiante llega a él.

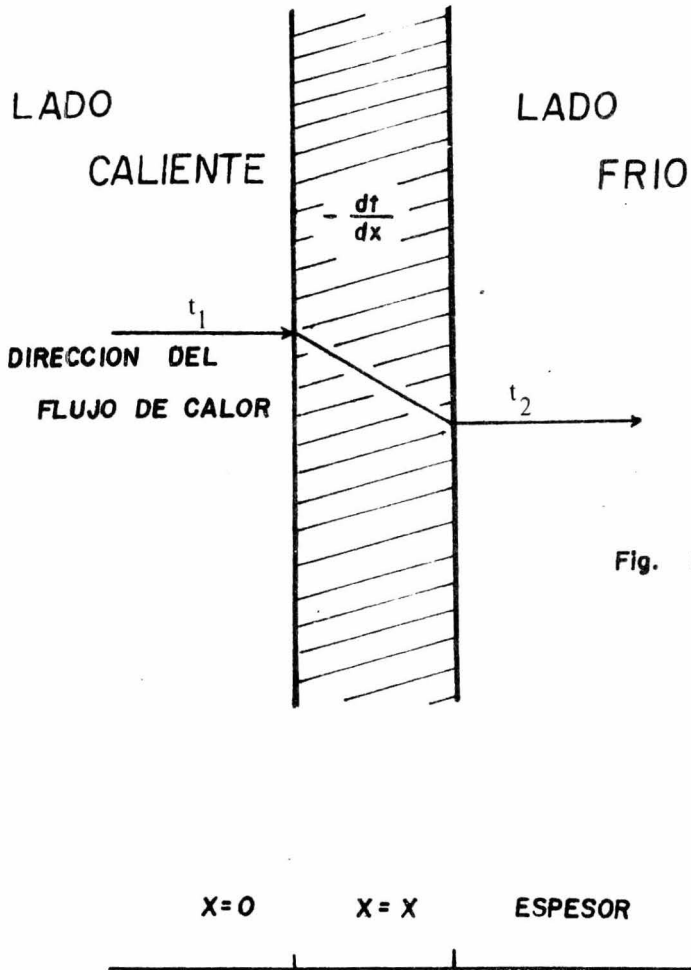
Al tratar con el diseño de aislamiento un gran porcentaje de la transmisión de calor se lleva a cabo por conducción, por lo que en los párrafos siguientes nos referiremos a éste tipo de fenómeno.

La transmisión de calor a través de un cuerpo, al igual que muchos sistemas que involucran flujo tal como el de un líquido o de electricidad, se ha observado que la cantidad que fluye es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia que se aplica al sistema.

$$\text{Flujo} \propto \frac{\text{Potencial}}{\text{Resistencia}} \quad 2-1$$

En el flujo de calor a través de una pared -- éste se lleva a cabo por la diferencia de temperaturas entre las superficies calientes y frías, figura 2-1. -- Por lo tanto, cuando dos superficies de una pared están a diferentes temperaturas necesariamente existe un flujo y una resistencia al flujo del calor. La dirección del flujo del calor será en ángulos rectos a la pared -- si las paredes del cuerpo son isotérmicas y el cuerpo -- es homogéneo e isotrópico.

Como se dijo ya, el flujo de calor por hora -- es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y el área de la pared A. Si t es la temperatura -- en cualquier punto de la pared y x es el espesor de la pared en dirección del flujo del calor, la cantidad de flujo de calor dq está definido por:



$$dQ = kA \left( -\frac{dt}{dx} \right) \quad 2 - 2$$

Donde:

$$-\frac{dt}{dx}$$

Es el gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supone una temperatura mayor en la cara de la pared donde  $x = 0$  y menor en la cara donde  $x = X$ .

En otras palabras, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura  $dt$  que impulsa el calor a través de la pared de espesor  $dx$ .

$k$  La constante de proporcionalidad es peculiar a la conducción de calor por conductividad térmica. Siendo ésta específica para cada cuerpo.

Integrando:

$$Q \int_{x=0}^{x=X} \frac{dx}{A} = - \int_{t_1}^{t_2} k dt \quad 2-3$$

Siendo la conductividad térmica una función de la temperatura tenemos que:

$$Q \int_{x=0}^{x=X} \frac{dx}{A} = - \int_{t_2}^{t_1} f(t) dt \quad 2-4$$

$$Q \int_{X=0}^{X=X} \frac{dX}{A} = - \frac{\int_{t_2}^{t_1} f(t) dt (t_2 - t_1)}{t_2 - t_1} \quad 2-5$$

Si definimos a la conductividad térmica media como:

$$k_m = \frac{\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt}{t_2 - t_1} \quad 2-6$$

Substituyendo 2-6 en 2-5 tenemos:

$$Q \int_{X=0}^{X=X} \frac{dX}{A} = - k_m (t_2 - t_1) \quad 2-7$$

$$Q = \frac{-k_m (t_2 - t_1)}{\int_{X=0}^{X=X} \frac{dX}{A}} \quad 2-8$$

$$Q = \frac{-k_m A}{\Delta X} (t_2 - t_1) \quad 2-9$$

La ecuación integrada de lo establecido anteriormente será entonces:

$$Q = k \frac{A \Delta t}{L} \quad 2-10$$

Donde:

Q= cantidad de calor que se transfiere-  
en: BTU/hr o Kcal/hs

A= Area de transmisión de calor en: ft<sup>2</sup>  
o m<sup>2</sup>

$\Delta t$  = Incremento de temperatura en: °F o  
°C

L= Espesor de la pared de transmisión en:  
pulgadas o m.

Para hacer de la ecuación 2-10 una igualdad, la conductividad térmica debe evaluarse de tal manera que am los miembros de la igualdad sean dimensional y numérica - mente correctos.

$$k = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/ft}} \quad \text{o} \quad \lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}$$

Dadas las temperaturas existentes en las superficies fría y caliente de la pared, el flujo de calor puede ser calculado usando ésta ecuación que es un caso espe cial de la ecuación de Fourier.

Puesto que  $KA / L$  es la conductancia, su recí - proco  $R$  es la resistencia al flujo del calor, es decir:

$$R = \frac{L}{kA} \quad 2-11$$

Por lo tanto la ecuación 2-10 queda como:

$$Q = \frac{\Delta t}{R} \quad 2-12$$

La conductancia .- Se ha definido como la cantidad de calor transmitido de una cara de un material homogéneo o no y de cualquier espesor a la otra cara, cuando ésta transmisión se efectúa en dirección perpendicular a una superficie unitaria en la unidad de tiempo y existiendo una diferencia unitaria de temperaturas entre las dos caras del material.

A diferencia de la conductividad térmica que se ha definido como la medida de calor que fluye perpendicularmente a través de una área unitaria de un material homogéneo, en un tiempo unitario, manteniendo una diferencia de temperatura unitaria entre las dos caras del material cuando el espesor de éste es unitario.

#### FLUJO DE CALOR A TRAVES DE UNA PARED COMPUESTA

Es de interés estudiar una pared cuando ésta consiste de varios materiales colocados juntos en serie, como ocurre en la construcción de un horno o cámara de combustión, en las que generalmente se emplean diferentes tipos de ladrillos refractarios.

Supongamos una pared compuesta de tres diferentes materiales refractarios en serie, fig. 2-2: indicados por A, B y C. El flujo de calor a través del material A debe vencer la resistencia  $R_A$ , por consiguiente al pasar a través del material A el calor también pasara



a través de los materiales B y C en serie.

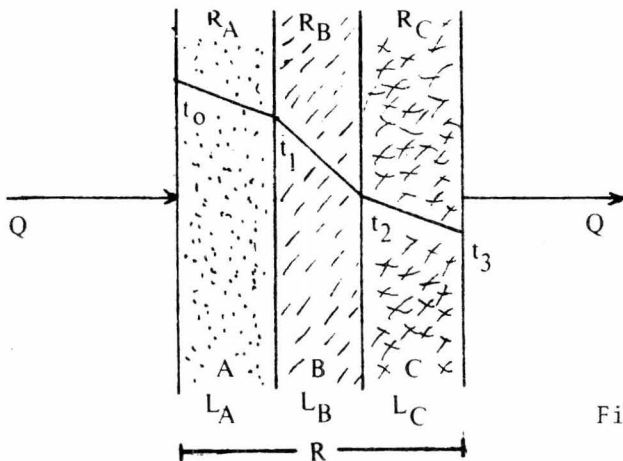


Fig. 2-2

El calor que entra por la cara izquierda debe ser igual al calor que sale en la cara derecha, puesto que el estado estable sanciona el almacenamiento de calor.

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{t_0 - t_1}{R_A} = \frac{t_1 - t_2}{R_B} = \frac{t_2 - t_3}{R_C} \quad 2-13$$

Si  $R_A$ ,  $R_B$  y  $R_C$  son diferentes como resultado de diferente conductividad y espesor, la razón de la diferencia de temperatura a través de cada capa a su resistencia, deberá ser la misma que la razón de la diferencia total de temperatura a la resistencia total, es decir:

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{t_0 - t_3}{\frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \frac{L_C}{k_C A}} \quad 2-14$$

Tomando en consideración, la resistencia del aire que los rodea para eliminar el calor de la superficie externa, ésta última es apreciable aún cuando el flujo de calor se efectúa por convección natural del aire ambiente en adición a la radiación y tiene como origen la diferencia de temperatura entre la superficie exterior y el aire frío. A esta resistencia se le conoce como "Coeficiente Superficial de Transferencia de Calor"  $h_a$

Teniendo en cuenta que las resistencias son aditivas la ecuación 2-14 queda como:

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{t_0 - t_3}{\frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \frac{L_C}{k_C A} + \frac{l}{h_a}} \quad 2-15$$

Generalizando tenemos que:

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{t_0 - t_s}{\frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \dots + \frac{L_n}{k_n A} + \frac{l}{h_a}} \quad 2-16$$

## FLUJO DE CALOR A TRAVES DE SUPERFICIES CILINDRICAS

La forma de cálculo anterior no puede ser aplicada en superficies cilíndricas porque el área de la trayectoria del flujo de calor es diferente. En las superficies planas, la cantidad de calor que sale por la superficie "B" es igual a la cantidad de calor que entra por la superficie "A", fig. 2-3; sin embargo, en una superficie curva la cantidad de calor que entra en el área "A" sale por una área "B" más grande por lo que se requiere hacer una corrección y determinar la cantidad de calor que sale por dicha área.

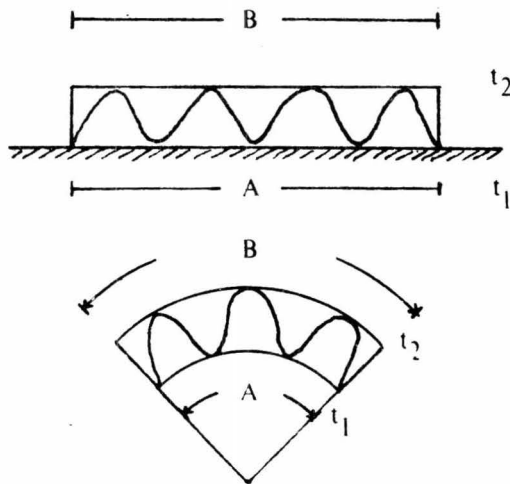


fig. 2-3

Como se puede ver la trayectoria del flujo de calor a través de la pared del tubo aumenta con la distancia de la trayectoria desde  $r_1$  a  $r_2$ . Y el área a cualquier radio  $r$  estará dada por:

$$A = 2\pi r l \quad 2-17$$

Y el incremento de espesor, estará dado por:

$$dx = dr \quad 2-18$$

Substituyendo las ecuaciones 2-17 y 2-18 en la ecuación 2-8 tenemos que:

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{l}{k_m} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{2\pi r l}} \quad 2-19$$

Donde si definimos a la Resistencia  $R_f$  como:

$$R_f = \frac{l}{k_m} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{\pi r l} \quad 2-20$$

Integrando:

$$R_f = \frac{l}{k_m} \left( \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \frac{1}{2\pi l} \quad 2-21$$

o bien:

$$R_f = \frac{l}{\pi l k_m} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Substituyendo la ecuación 2-21 en la ecuación 2-19

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{l}{k_m} \left( \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi l} \right)} \quad 2-23$$

En realidad, el flujo de calor en su paso hacia exterior tropieza con diversas resistencias, por ejemplo, el vapor que fluye por una tubería vence las resistencias de la película que se forma entre el fluido y la pared de la tubería, la resistencia de la pared metálica del tubo, la resistencia de la capa aislante y la resistencia de la película de aire en la superficie externa. En la práctica, cuando se calcula el calor perdido en superficies no aisladas, se omiten las resistencias ofrecidas por la película interior y la pared del tubo por ser insignificantes comparadas con la película exterior, y más aún cuando la superficie está aislada. Solo se considera la pérdida por radiación y convección al aire (1/f). Por lo tanto la ecuación 2-23 queda como:

$$Q = \frac{l (t_1 - t_2)}{\frac{l}{k_m} \left( \ln \frac{r_2}{r_1} \right) + \frac{l}{f}} \quad 2-24$$

Para los diámetros nominales y espesores más usados. Ver tabla A-1 Apendice.

EFICIENCIA:

La eficiencia E de un aislamiento está dado por la relación del calor ahorrado por el Aislamiento y el calor perdido por la misma superficie sin aislar.

$$E = \frac{\text{Pérdida de calor sin aislamiento} - \text{Pérdida de calor con aislamiento}}{\text{Pérdida de calor sin Aislamiento}} \times 100$$

Aún y cuando resulta practicamente imposible alcanzar la eficiencia ideal, esto es, 100%, existe un límite del aislante por encima del cual de nada serviría aumentar los espesores ya que, la misma masa del Aislante logra siempre transmitir una parte de calor latente; que va aumentando paulatinamente en su interior; este límite será técnica y económicamente más alto, entre menor resulte el coeficiente de conductividad térmica y el calor específico del material Aislante que se escoja.

Influencia de la humedad relativa en los recubrimientos Aislantes que trabajan a temperaturas bajas.

El vapor que existe en el aire, origina una presión como cualquier otro gas, midiendo la cantidad de vapor contenido en el aire en granos de agua por libra de aire seco (1 grano de agua= 1/7000 libra).

Mientras más cantidad de vapor existe, mayor será la presión de vapor.

Cuando se requiere tratar con el contenido absoluto de agua existente en el aire, se debe usar la presión de vapor. Sin embargo, si únicamente se desea conocer la cantidad de vapor de agua que exista en las moléculas de aire con relación a la cantidad que dichas moléculas pueden contener en su punto de saturación, entonces debe hablarse de "humedad relativa" la presión de vapor se mide en  $\text{Kg/ cm}^2$  ( $1\text{b/ in}^2$ ), mientras que la humedad relativa se expresa en %.

Siendo el vapor de agua un gas como el aire, se desplazará en la misma forma que éste. Si esto es evidente, no lo es tanto sin embargo, que el vapor de agua pueda penetrar y moverse a través de materiales, tales como el concreto, ladrillos, aplanados etc. Sin embargo este hecho es absolutamente real ya que debido

a la fuerza que ejerce la presión de vapor en el aire-caliente, hay una constante tendencia de aquel a escapar a zonas donde la temperatura sea menor, y por consiguiente donde la presión sea menor. Por otra parte - dentro de las celdas que forman las moléculas de cualquier material, existe aire que está más o menos en reposo, o bien se mueve en la misma dirección que el vapor, el cual al tratar de escapar a través del mate -- rial al llegar a una temperatura mas baja, aumenta el contenido de humedad precisamente en ese punto, saturando las moléculas de aire, la que al no poder contener mayor cantidad de vapor empiezan a permitir la condensación.

Sin embargo, vale la pena hacer notar que -- después de múltiples experiencias, cuando al vapor de agua se le permite fluir libremente, aún en aire frío, no ocurre condensación alguna. Esto significa que el vapor condensa sobre superficies que impiden su flujo -- normal y tengan una temperatura más baja que la de condensación.

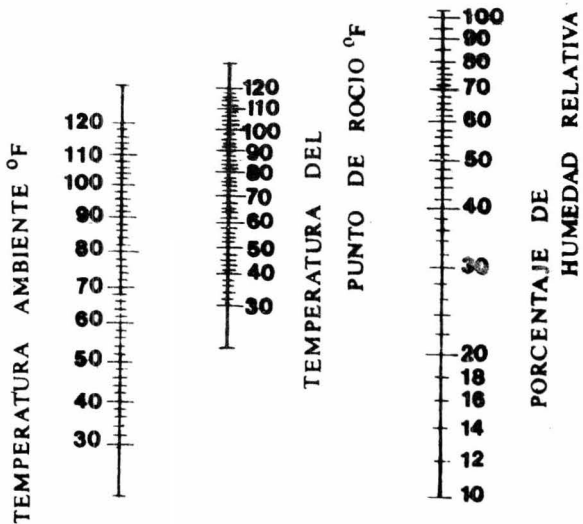
En los párrafos anteriores se ha enfatizado el problema de la condensación, precisamente por la -- enorme consecuencia nociva que ella puede traer al originarse en una instalación fría, habiendo pues aclarado su importancia, se puede tratar ya cual es el cami-



no para que dicha condensación no se presente.

- a) Seleccionar la Barrera de Vapor adecuada que deberá ser usada siempre que las temperaturas de superficies del equipo estén abajo de las temperaturas de condensación de vapor del aire del medio ambiente. Esto evitará que el vapor del aire condense dentro del Aislante.
- b) Selecciónese el Aislamiento con el espesor suficiente para hacer que las temperaturas del Aislamiento (donde la Barrera de Vapor será colocada) tenga una temperatura arriba de la temperatura de condensación del vapor de aire.

### PROPIEDADES DEL AIRE HUMEDO



El nomograma anterior nos ayuda a encontrar -  
la temperatura de condensación si conocemos la tempera-  
tura media del medio ambiente y su humedad relativa.

#### Calidad de una Barrera de Vapor.

Una barrera de Vapor se define como todo a --  
quel material que permite el paso de menos de un grano-  
de vapor de agua por pie cuadrado por hora y cuando ---  
existe entre el lado frío y el caliente una diferencia-  
de presión igual a una pulgada de mercurio. A ésta uni-  
dad se le conoce con el nombre de perm.

# CLASIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE AISLAMIENTOS TERMICOS

3

Como ya se dijo, el flujo de calor por conducción es alto en los sólidos y bajo en los gases, por lo tanto, un material aislante bueno es aquel que es bajo en su contenido de material sólido y su contenido gaseo so es alto, con la condición que éste último esté contenido en pequeñas celdillas que eviten el flujo de calor por convección.

Los diferentes tipos de Aislamiento se han -- clasificado por la forma en que éstos están constituí -- dos integrando tres grupos principales.

- a) Tipo granular.- Estos materiales tienen en su estructura infinidad de pequeñas celdillas llenas de aire que no se comunican - entre sí, haciéndolas resistentes al - flujo de calor por conducción y ha - ciendo que el mecanismo de convec -- ción sea bajo.
- b) Tipo fibroso.- Las películas de aire al rededor de - las fibras las hace resistentes al -

paso del calor por conducción y a densidad más o menos altas (5 a 9-lb/ft<sup>3</sup>), reducen el número de canales de aire libre y minimiza la transmisión de calor por convección.

c) Tipo celular.- Estos materiales están formados por paredes delgadas que contienen innumerables celdillas independientes, llenas de aire o de algún agente espumante. Esta independencia entre celdillas impide el movimiento del aire y por consiguiente el flujo de calor por convección.

#### Granulares:

Carbonato de magnesio (magnesia).- Este material se extrae de piedra caliza dolomítica después de una serie de procesos químicos que incluyen; la calcinación de la dolomita y tratamiento con agua, agregado de bióxido de carbono para eliminar el carbonato de calcio y la precipitación del carbonato de magnesio que es un polvo cristalino blanco, puro y ligero de extraordinaria finura. Estos cristales aunque son muy pequeños no tienen una forma regular, como son cubos o prismas, pues al ser observados al microscopio presen-

tan una estructura delgada y compleja. El entrelazamiento de millones de éstos cristales en cada centímetro cúbico del aislamiento acabado, retiene un número infinito de espacios de aire.

Tierra Diatomacea.- (silica de diatomacea o tierra de infusorios) Están compuestas de estructuras de plantas microscópicas llamadas diatomeas; las diatomeas viven en el agua, cuando mueren su estructura cae al fondo del mar o lago y forman depósitos de tierra de infusorios, las cuales son extraídas y calcinadas quedando casi silicato puro, permaneciendo inalterada su estructura esquelética individual que contiene un gran número de espacios de aire.

Vermiculita.- Es un mineral micáceo isotrópico, es decir, que posee la característica peculiar de dilatarse en un solo sentido al ser calentado. Esta expansión puede aumentar su volumen original hasta diez y seis veces, originando infinidad de espacios de aire. Este proceso se le conoce como exfoliación.

Gilsonita procesada.- Es un material de naturaleza asfáltica en forma granular.

### Fibrosos

Fibras minerales de Escoria de fundición.- Se obtienen fundiendo minerales de escoria de fundición en un horno y vertiendo la masa fluida en un chorro de

vapor a gran velocidad. El producto resultante del proceso anterior es parecido a la lana químicamente inerte e incombustible.

Fibras de Vidrio.- El hecho de haber adoptado el vidrio como materia base de un producto aislante, podría parecer a primera vista una contradicción, sin embargo, debe considerarse que el vidrio reducido a hilos largos, brillantes y de muy exiguo diámetro, ofrece características específicas particularmente apropiadas al fin que se les destina. Su absoluta incombustibilidad e imputescibilidad, flexibilidad total, soportando sin peligro dilataciones y contracciones sucesivas, inatacabilidad de cualquier agente corrosivo, calor y peso específico muy reducidos, etc. lo hacen uno de los materiales aislantes más versátiles.

Fibras de Asbesto.- Es un mineral cuya forma más fina es el amianto. La industria del amianto, mineralógicamente hablando, está relacionada con las dos principales clasificaciones de este material.

1.- Hornablenda o Amphibole. A éste grupo -- que procede casi exclusivamente del Africa del Sur, -- pertenecen:

- a) Crocidolita Azul, facilmente identificable por su color y sus características como son: gran resistencia a la tensión, gran elasticidad y -

volúmen específico, de donde procede su resistencia al calor.

- b) Amosite. De color blanco o amarillento oscuro. Lo largo de sus fibras frecuentemente son de 4 a 7 pulgadas, sin embargo no tienen la misma elasticidad y resistencia a la tensión, ligeramente inferiores a la crocidolita, mientras -- que sus propiedades aislantes son mucho más no tables.

2.- Chrysolite.-De color blanco y textura fina, se extrae principalmente de extensos depósitos naturales del Canada, Rodesia y Rusia. Se caracteriza - por ser elástico y de gran resistencia a la tensión y - especialmente por su resistencia a los ácidos y solu - ciones químicas en general.

Fibras de titanato de potasio.- Es un mate - rial fibroso cristalino; Aun a bajas densidades, pre - senta gran resitencia al paso del calor.

Fibra cerámica de sílice-alúmina.- Este mate - rial encabeza la lista de materiales aislantes de alta temperatura, hasta de 1260°C.

### Celulares

— Corcho.- Es la capa externa de la corteza de un roble con el nombre de alcornoque. La corteza llega a ser extraordinariamente gruesa y se corta en tiras -

cada 8 ó 10 años. El corcho tiene una estructura celular y debe su baja conductividad al aire encerrado en dichas celdillas.

Espumas plásticas.- Expandidas como el poliuretano, poliestireno y cloruro de polivinilo como las más usadas en substitución del corcho.

Un buen porcentaje de los materiales aislantes para altas temperaturas, son mezclas de los grupos antes mencionados, ya sea para mejorar su conductividad térmica o para dar una mayor resistencia a su estructura.

En los párrafos siguientes nos dedicaremos a la descripción de los materiales aislantes que más se usan dentro del mercado en México, y los más importantes en el mercado internacional

X Asbesto 85% Magnesia.- El Asbesto 85% magnesia no se maneja en México; es una mezcla sencilla de dos componentes, 85% en peso de carbonato de magnesia-puro y un 15% de fibra larga de asbesto.

El ingrediente de más eficiencia en ésta composición, es el carbonato de magnesia por su extraordinaria porocidad. Las fibras de asbesto son para darle mayor resistencia mecánica, por la firme cohesión que forma con el carbonato de magnesia.



Su límite de temperatura es de 315°C (600°F), ya que a temperaturas mayores la reacción química producida en el carbonato de magnesia disminuye la capacidad aislante de este material.

Se presenta en el mercado en tres formas: cemento, tubos y bloques.

El cemento se suministra en polvo seco y para su aplicación solo basta agregarle agua limpia hasta formar una mezcla de consistencia uniforme.

Los tubos se fabrican en dos medias cañas, forradas con manta y con dos abrazaderas metálicas en una longitud de 0.91 m. (3')

De la misma manera que los tubos, los bloques forman un aislamiento homogéneo y adaptable a calderas y aparatos en general. Se fabrican en 3" (76 mm.), 6" (152 mm.) y 12" (304 mm.) de ancho y 18" (457 mm.) y 36" (914 mm.) de largo, en espesores de 1" a 4" (25 a 102 mm.)

\* Tierra diatomacea y fibra de asbesto.

La sílice de diatomeas calcinada y fibra de asbesto mezclados con un material aglutinante se usan en la fabricación de un aislante apropiado para temperaturas hasta de 650°C (1200°F). Se suministra en forma de medias cañas para el aislamiento de tuberías, y en -

forma de bloques para recubrimiento de superficies planas o de curvas de gran radio. Este material presenta grandes ventajas entre otros materiales por su gran resistencia mecánica, que le dan las largas fibras de asbesto con que se fabrica, además de poseer la mejor relación "conductividad térmica a resistencia mecánica", tiene gran resistencia a la vibración y no se altera con gases u otras emanaciones de reacciones químicas.

Los preformados se fabrican en dos medias cañas de 0.91 m. de largo para tuberías standard de 13 mm. (1/2") a 508 mm. (20") de diámetro y en espesores de 25 mm. (1") a 127 mm. (5").

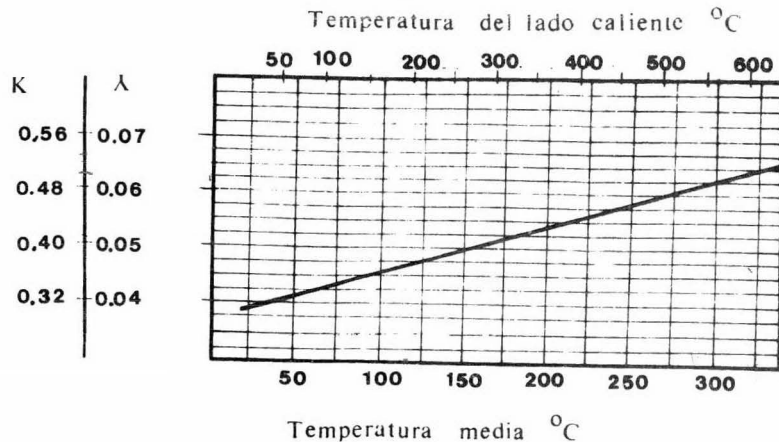
Los bloques se fabrican en espesores de 25 mm. (1") y 51 mm. (2") y tamaño de 152 mm. (6") por 914 mm. (36")

#### PROPIEDADES FISICAS:

Densidad en tubo:	0.256 g/cm <sup>3</sup>	(16 lb/ft <sup>3</sup> )
Densidad de bloques:	0.334 g/cm <sup>3</sup>	(21 lb/ft <sup>3</sup> )
Modulo de ruptura (resistencia transversal):	5.21 Kg/cm <sup>2</sup>	(79 lb/in <sup>2</sup> )
resistencia a la compresión: ( para 5% de deformación)	0.56 Kg/cm <sup>2</sup>	(8 lb/in <sup>2</sup> )
Encogimiento lineal:		

Después de 24 hrs. a 400°C-0.00%

97



$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE TIERRA DIATOMACEA  
Y ASBESTO

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

G-3-1

Después de 24 hrs. a 540°C-0.20%

Después de 24 hrs. a 650°C-0.60%

Conductividades térmicas: ( ver graf. 3-1 )

Espesores recomendados: ( ver tabla 3-1 )

\* Lana mineral:

La lana mineral se puede aplicar en las distintas formas comerciales que aparece en el mercado:

1) Suelta.- La lana mineral se procesa originalmente sin forma ni dimensiones especiales, se empaqueta en sacos y sirve generalmente para rellenos aislantes.

2) En colchonetas.- La lana mineral generalmente aglutinada con aceite, es arreglada en forma de colchonetas de 25 mm. (1") a 102 mm. (4") de espesor y en dos tamaños: de 0.61 m. (2') x 1.22 m. (4') y de 0.61 m. (2') x 2.44 m. (8') reforzadas generalmente con malla de gallinero por un lado y metal desplegado por el otro. Para temperaturas hasta de 650°C (1,200°F).

PROPIEDADES FISICAS:

Densidad: 0.224 g/cm<sup>3</sup> ( 14 lb/ft<sup>3</sup> )

Conductividades térmicas a diferentes temperaturas:

Temperatura promedio		Conductividad térmica	
°C	°F	$\lambda$ (Kcal/hs m <sup>2</sup> °C/m)	K (BTU/hr ft <sup>2</sup> °F/in)
150	297	0.016	0.29

Diámetro nominal		Temperatura de la cara más caliente																							
		100 °C		150 °C		200 °C		250 °C		300 °C		350 °C		400 °C		450 °C		500 °C		550 °C		600 °C		650 °C	
		Espesores																							
Pulg	mm	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg
1/2	13	25	1	25	1	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	51	2
3/4	19	25	1	25	1	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	51	2
1	25	25	1	25	1	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2
1 1/4	32	25	1	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	64	2 1/2
1 1/2	38	25	1	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	76	3
2	51	25	1	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	76	3
2 1/2	64	25	1	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	76	3
3	76	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	76	3
4	102	25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	102	4
5	127	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	76	3	89	3 1/2	102	4
6	152	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	102	4	102	4
8	203	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	76	3	76	3	89	3 1/2	102	4	102	4
10	254	38	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	102	4	102	4	102	4
12	305	51	2	51	2	51	2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	102	4	127	5	127	5
14	356	51	2	51	2	51	2	51	2	76	3	76	3	76	3	102	4	102	4	127	5	127	5	127	5
16	406	51	2	51	2	51	2	51	2	76	3	76	3	76	3	102	4	102	4	127	5	127	5	127	5
18	457	51	2	51	2	51	2	51	2	76	3	76	3	76	3	102	4	102	4	127	5	127	5	127	5
20	508	51	2	51	2	51	2	51	2	76	3	76	3	76	3	102	4	102	4	127	5	127	5	127	5
BLOQUE		25	1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	76	3	76	3	102	4	102	4	102	4

ESPESORES RECOMENDADOS PARA TUBERIAS Y BLOQUES DE TIERRA DIATOMACEA Y ASBESTO

TABLA 3-1

200	390	0.021	0.38
300	565	0.025	0.45
340	640	0.030	0.55

CONDUCTIVIDAD TERMICA ( Ver graf. 3-2 )

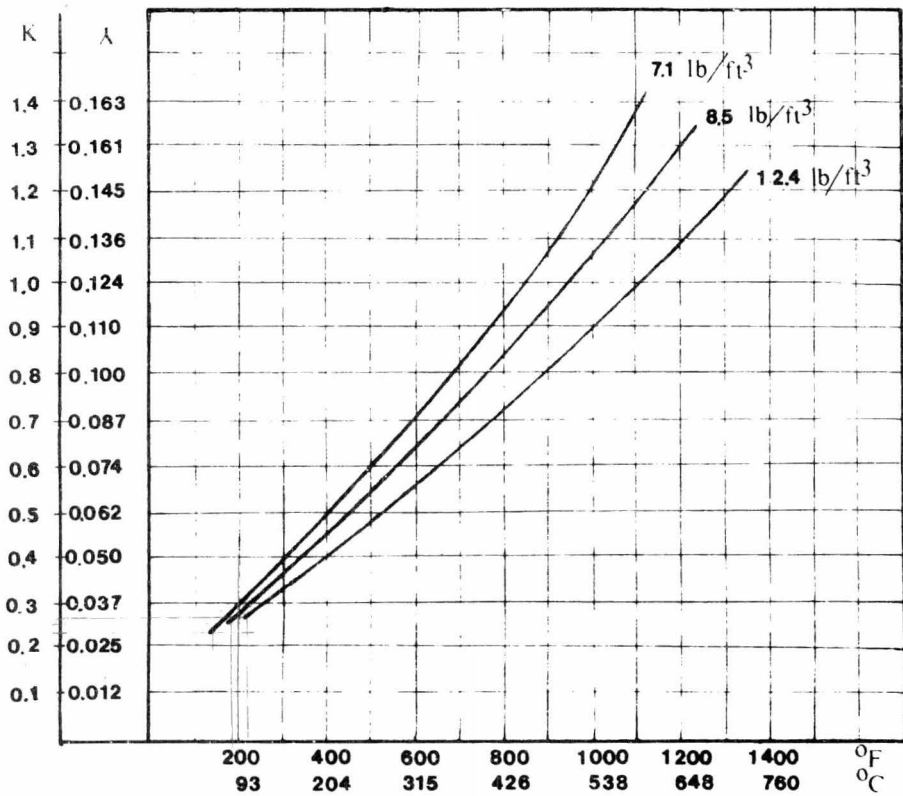
Este tipo de Aislamiento térmico se recomienda por su versatilidad en equipos irregulares.

3) En forma de bloques.- Se aglutina la lana mineral con ingredientes resistentes y altas temperaturas y se prensan dando como resultado un bloque de forma rígida, resistentes a temperaturas hasta de 1,038°C (1,900°F)

#### PROPIEDADES FISICAS

Densidad	0.228 g/cm <sup>3</sup> -0.304 g/cm <sup>3</sup> (18-19 lb/ft <sup>3</sup> )
Encogimiento lineal:	2% (a 1,038°C)
Módulo de ruptura:	3.86 Kg/cm <sup>2</sup> (55 lb/in <sup>2</sup> )
Resistencia a la compresión:	1.26 Kg/cm. <sup>2</sup> (18 lb/in <sup>2</sup> )
Conductividad térmica a diferentes temperaturas promedio	

Temperatura promedio		Conductividades térmicas	
°C	°F	$\lambda$ (K cal/mhi°C/m)	$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{°F/in}}$
93	200	0.019	0.35
204	400	0.022	0.40
315	600	0.026	0.47
426	800	0.030	0.54
538	1,000	0.035	0.63



Temperatura media

$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA LANA  
MINERAL

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

G-5-2

Espesores recomendados para bloques a diferentes temperaturas

TEMPERATURA		ESPESOR	
°C	°F	mm.	in
38-121	100-250	25-38	1-1 1/2
121-204	251-400	51	2
204-315	401-600	76	3
315-399	601-750	89	3 1/2
399-482	751-900	102	4
482-565	901-1050	114	4 1/2
565-648	1051-1200	127	5
sobre-648	sobre-1200	152	6

4) Granulado.- una vez obtenida la lana mineral - por medio de un proceso mecánico se transforma en nódulos. Se usa en la fabricación de cementos aislantes- para rellenos o bién para acabados.

5) Cementos aislantes.- una mezcla seca de lana mineral granulada, fibras largas de asbesto y otros ingredientes, que al mezclarse con agua forman una maza- homogénea para dar acabados a equipos industriales ais lados.

#### PROPIEDADES FÍSICAS

Temperatura de servicio	hasta 1,092°C(2,000°F)
Contracción volumétrica:	14.5% (humedo a seco)



Densidad instalado: 0.358 g/cm<sup>3</sup>

Resistencia a la compresión: 2.39 Kg/cm<sup>2</sup>

Conductividades térmicas a diferentes temperaturas promedio.

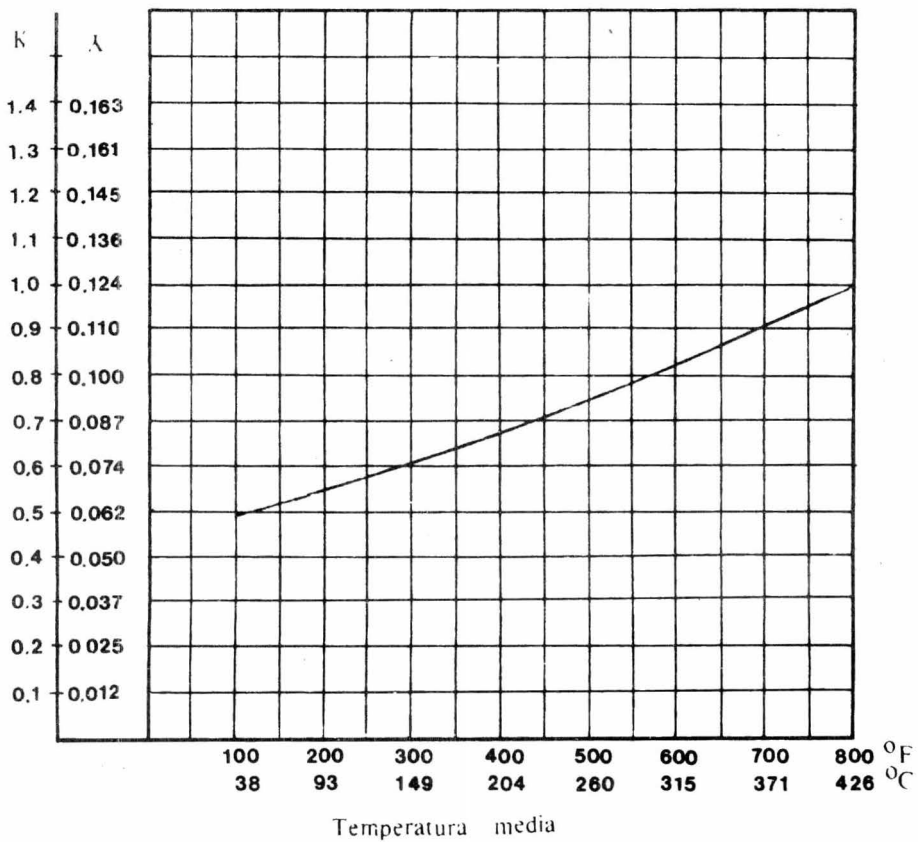
Temperaturas promedio		Conductividad térmica	
°C	°F	$\lambda$ (Kcal/hs M <sup>2</sup> $\frac{°C}{M}$ )	K (Btu-in/hr ft <sup>2</sup> °F)
37.7	100	0.027	0.49
259.7	500	0.041	0.74
426.0	800	0.059	1.06

Conductividades térmicas: (Ver graf. 3-3)

Los productos de lana mineral están clasificados de acuerdo con el límite de temperatura a que se destinan del siguiente modo:

CLASE	LIMITES DE TEMPERATURA	
	°F	°C
A	600	315
B	1000	538
C	1200	648
D	1600	871
E	1800	981

Esta clasificación corresponde al Standard comercial CS-117 del departamento de comercio de los Estados Unidos de Norteamérica.



$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{°F} / \text{in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{°C} / \text{m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA PARA CEMENTO AISLANTE  
DE LANA MINERAL

Uno de los aspectos que deben de tenerse muy en cuenta en estos materiales, es su densidad. Ya que una densidad baja no constituye un aislamiento apropiado ni económico. Por lo que se recomienda usar densidades mínimas de  $0.192 \text{ g/cm}^3$  ( $12 \text{ lb/ft}^3$ ) y como óptimas de  $0.224 \text{ g/cm}^3$  a  $0.240 \text{ g/cm}^3$  ( $14$  a  $15 \text{ lb/ft}^3$ )

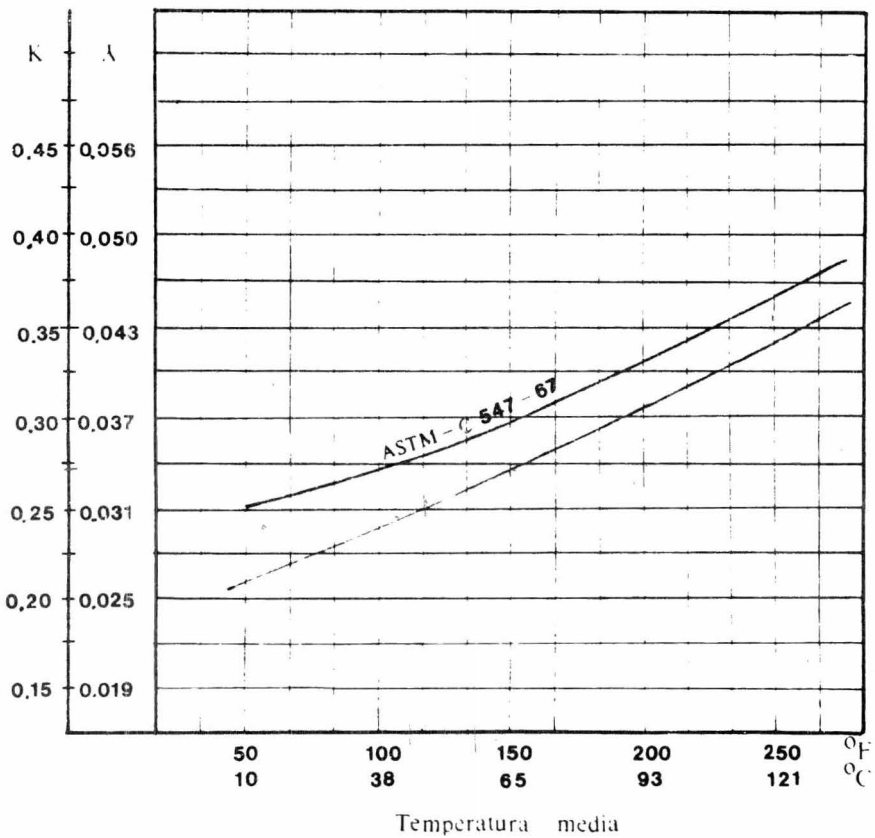
#### \* Fibra de vidrio:

El vidrio molido es la materia prima, que por fundición y por medio de un sistema de asperción centrífuga nos dan las fibras que tratadas con resinas fenólicas o aceites sirven para dar forma a los diferentes tipos de aislamientos según las formas que se requieran.

Debido a su consistencia elástica resiste -- las vibraciones y contracciones. Da servicio para un intervalo de temperaturas que parte desde los  $-84^\circ\text{C}$  -- ( $-121^\circ\text{F}$ ) hasta los  $232^\circ\text{C}$  ( $450^\circ\text{F}$ ). A temperaturas superiores, la resina fenólica empieza a humear, marcando el límite superior de las fibras aglutinadas con éste tipo de resinas; y un intervalo de  $-84^\circ\text{C}$  hasta los  $538^\circ\text{C}$  ( $1000^\circ\text{F}$ ) para las fibras impregnadas con muy pequeñas cantidades de aceite lubricante.

Las diferentes formas que se encuentran en el mercado son:

- 1) Preformados en medias cañas para tubería.- Se-

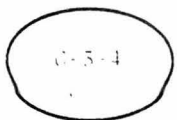


$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ /m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE PREFORMADOS  
DE FIBRA DE VIDRIO

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos



fabrican con fibra de vidrio aglutinada con resina fenólica, moldeadas para ajustarse a la superficie de la tubería de medidas comerciales tanto de fierro como de cobre. Se proporciona con la rigidez necesaria para soportar los abusos mecánicos normales de toda instalación.

Se surte en tramos de 0.91 m. (3') de largo y para diámetros de tuberías standar de fierro de 13 mm. (1/2") a 305 mm. (12") (I.D.) o de cobre de 13 mm. (1/2") a 76 mm. (3") (O.D.) Los espesores varían de 13mm (1/2") a 51 mm. (2") con recubrimientos Standard de manta para instalaciones calientes o con barrera de vapor para instalaciones frías, cada tramo se surte con dos flejes de aluminio de 19 mm. (3/4") de ancho, para sujetar el recubrimiento en ambos extremos.

Las ventajas que ofrecen son: buena eficiencia térmica, incombustibilidad, estable, no favorece la **corrosión**.

Características Físicas:

Conductividad térmica  $0.0278 \text{ K cal. m/ m}^2 \text{ hr. } ^\circ\text{C}$  a  $24^\circ\text{C}$  ( $75^\circ\text{F.}$ ) de temperatura ( $0.24 \text{ BTU in./sq. ft. hr. } ^\circ\text{F.}$ ).

Densidad:  $88.1 \text{ Kg/m}^3$  (5.5 lbs/cft)

Calor específico:  $0.20 \text{ BTU/lb/}^\circ\text{F.}$

Corrosión de acero y aluminio: No se provoca o acelera.

Temperatura de operación		Hasta 65°C (149°F)					Hasta 93°C (200°F)					Hasta 121°C (250°F)					Hasta 149°C (300°F)					Hasta 204°C (399°F)					Hasta 232°C (450°F)				
Diferencia de temperatura		38°C - 69°F					66°C - 131°F					94°C - 170°F					122°C - 220°F					137°C - 319°F					205°C - 370°F				
Diámetro nominal		ER		E	TS		ER		E	TS		ER		E	TS		ER		E	TS		ER		E	TS		ER		E	TS	
Pulg	mm	Pulg	mm	%	°F	°C	Pulg	mm	%	°F	°C	Pulg	mm	%	°F	°C	Pulg	mm	%	°F	°C	Pulg	mm	%	°F	°C	Pulg	mm	%	°F	°C
1/2	12.7	3/4	19.1	80	88.0	31.1	3/4	19.1	81	95.2	35.1	1	25.4	83	96.4	35.8	1	25.4	84	102.3	39.1	1 1/2	38.0	91	101.2	38.5	2	50.8	93	97.5	36.4
3/4	19.1	3/4	19.1	81	88.4	31.4	3/4	19.1	83	95.9	35.5	1	25.4	84	97.3	36.3	1	25.4	85	103.6	39.8	1 1/2	38.0	92	102.6	39.1	2	50.8	93	98.7	37.0
1	25.4	3/4	19.1	82	88.8	31.5	3/4	19.1	83	96.7	35.9	1	25.4	86	98.0	36.7	1	25.4	86	105.0	40.6	1 1/2	38.0	93	103.9	39.9	2	50.8	94	99.8	37.6
1 1/4	32.0	3/4	19.1	82	89.2	31.9	3/4	19.1	84	97.4	36.3	1	25.4	86	99.2	37.4	1 1/2	38.0	89	96.5	35.9	1 1/2	38.0	94	105.5	40.9	2	50.8	95	101.2	38.5
1 1/2	38.0	3/4	19.1	83	89.5	32.0	3/4	19.1	85	97.9	36.6	1	25.4	87	99.8	37.6	1 1/2	38.0	90	97.2	36.2	1 1/2	38.0	94	105.1	41.1	2	50.8	95	101.9	38.8
2	51.0	1	25.4	86	87.3	30.6	1	25.4	87	94.5	34.7	1	25.4	87	100.7	38.1	1 1/2	38.0	90	97.9	36.6	2	50.8	95	99.7	37.6	2	50.8	95	103.1	39.5
2 1/2	64.0	1	25.4	86	87.6	30.8	1	25.4	87	95.1	35.1	1	25.4	88	101.5	38.6	1 1/2	38.0	91	98.8	37.1	2	50.8	95	100.8	38.1	2	50.8	95	104.4	40.2
3	76.0	1	25.4	87	87.8	31.0	1	25.4	88	95.4	35.2	1	25.4	88	101.9	38.9	1 1/2	38.0	91	99.3	37.4	2	50.8	96	101.7	38.6	2	50.8	96	105.4	40.8
4	102.0	1	25.4	87	88.1	31.1	1	25.4	88	95.9	35.5	1	25.4	88	102.8	39.3	1 1/2	38.0	92	100.4	38.0	2	50.8	96	102.8	39.3	2	50.8	96	106.6	41.4
5	127.0	1	25.4	87	88.2	31.2	1	25.4	88	96.1	35.4	1	25.4	89	103.1	39.5	1 1/2	38.0	92	101.1	38.4	2	50.8	96	103.7	39.8	2 1/2	68.5	97	101.7	38.6
6	152.0	1	25.4	87	88.4	31.4	1	25.4	88	96.6	35.9	1 1/2	38.0	92	95.9	35.5	1 1/2	38.0	92	101.8	38.7	2	50.8	96	104.5	40.1	2 1/2	68.5	97	102.5	39.1
8	203.2	1	25.4	88	88.6	31.4	1	25.4	88	96.9	36.0	1 1/2	38.0	93	96.3	35.8	1 1/2	38.0	92	102.1	39.0	2	50.8	96	105.4	40.8	2 1/2	68.5	97	103.3	39.6
10	254.0	1	25.4	88	88.7	31.5	1	25.4	88	97.2	36.2	1 1/2	38.0	93	96.7	35.9	1 1/2	38.0	92	102.8	39.3	2	50.8	96	106.0	41.1	2 1/2	68.5	97	103.9	39.9
12	304.0	1	25.4	88	88.8	31.5	1	25.4	88	97.4	36.3	1 1/2	38.0	93	96.9	36.0	1 1/2	38.0	92	102.9	39.4	2	50.8	97	106.1	41.2	2 1/2	68.5	97	104.3	40.2

TS = Temperatura de superficie aproximada

ER = Espesor recomendado

E = Eficiencia 1%

ESPEORES RECOMENDADOS PARA AISLAMIENTOS PREFORMADOS DE FIBRA DE VIDRIO

Temperatura de operación		9 °C a 2 °C (49°F a 35°F)		2 °C a -18 °C (34°F a 0°F)		-19 °C a -34 °C (-17°F a -30°F)		-35 °C a -51 °C (-31°F a -60°F)		-52 °C a -84 °C (-61°C a -120°F)	
Diferencia de temperaturas		18 °C a 25 °C (31°F a 45°F)		26 °C a 45 °C (46°F a 80°F)		46 °C a 61 °C (81°F a 110°F)		62 °C a 78 °C (111°F a 140°F)		79 °C a 111 °C (141°F a 200°F)	
Diámetro nominal		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado	
Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm
1/2	12.7	1	25.4	1	25.4	1 1/2	38.0	1 1/2	38.0	2	51.0
3/4	19.1	1	25.4	1 1/2	38.0	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0
1	25.4	1	25.4	1 1/2	38.0	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0
1 1/4	32.0	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2	51.0	2 1/2	64.0
1 1/2	38.0	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2	51.0	2 1/2	64.0
2	51.0	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2	51.0	2 1/2	64.0
2 1/2	64.0	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
3	76.0	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
4	102.0	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
5	127.0	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
6	152.0	1	25.4	2	51.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
8	203.0	1	25.4	2	51.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3 1/2	89.0
10	254.0	1	25.4	2	51.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3 1/2	89.0
12	304.0	1	25.4	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0

ESPEORES RECOMENDADOS PARA AISLAMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO PARA TUBERIAS FRIAS CON UNA TEMPERATURA DE 27°C (80°F) Y UNA HUMEDAD RELATIVA DE 80 %

TABLA 3-5

Temperatura de operación		9 °C a 2 °C (49°F a 35°F)		2 °C a -18 °C (34°F a 0°F)		-19 °C a -34 °C (-7°F a -30°F)		-35 °C a -51 °C (-31°F a -60°F)		-52 °C a -84 °C (-61°F a -120°F)	
Diferencia de temperaturas		18 °C a 25 °C (31°F a 45°F)		25 °C a 45 °C (46°F a 80°F)		46 °C a 61 °C (81°F a 110°F)		62 °C a 78 °C (111°F a 140°F)		79 °C a 111 °C (141°F a 200°F)	
Diámetro nominal		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado	
Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm
1/2	12.7	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
3/4	19.1	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
1	25.4	1	25.4	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
1 1/4	32.0	1	25.4	2	51.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0
1 1/2	38.0	1	25.4	2	51.0	2	51.0	3	76.0	3 1/2	89.0
2	51.0	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0
2 1/2	64.0	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0
3	76.0	1 1/2	38.0	2	51.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0
4	102.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	2 1/2	64.0	3	76.0	4	102.0
5	127.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	2 1/2	64.0	3 1/2	89.0	4	102.0
6	152.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4	102.0
8	203.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4 1/2	104.3
10	254.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4 1/2	104.3
12	304.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4 1/4	104.3

ESPEORES RECOMENDADOS PARA AISLAMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO PARA TUBERIAS FRIAS CON UNA TEMPERATURA DE 27°C (80°F) Y UNA HUMEDAD RELATIVA DE 85 %

TABLA 3-4



Temperatura de operación	9 °C a 2 °C (49°F a 35°F)	2 °C a -18 °C (34°F a 0°F)	-19 °C a -34 °C (-17 °F a -30°F)	-35 °C a -51 °C (-31°F a -60°F)	-52 °C a -84 °C (-61°C a -100°F)						
Diferencia de temperaturas	18 °C a 25 °C (31°F a 45°F)	26 °C a 45 °C (46°F a 80°F)	46 °C a 61 °C (81°F a 110°F)	62 °C a 78 °C (111°F a 140°F)	79 °C a 111 °C (141°F a 200°F)						
Diámetro nominal	Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado		Espesor recomendado		
Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm
1/2	12.7	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4	102.0
3/4	19.1	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4 1/2	104.3
1	25.4	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4 1/2	104.3
1 1/4	32.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4 1/2	104.3
1 1/2	38.0	1 1/2	38.0	2 1/2	64.0	3 1/2	89.0	3 1/2	89.0	5	127.0
2	51.0	2	51.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4	102.0	5	127.0
2 1/2	64.0	2	51.0	3	76.0	3 1/2	89.0	4	102.0	5 1/2	139.7
3	76.0	2	51.0	3	76.0	4	102.0	4 1/2	104.3	5 1/2	139.7
4	102.0	2	51.0	3	76.0	4	102.0	4 1/2	104.3	6	152.0
5	127.0	2	51.0	3 1/2	89.0	4	102.0	5	127.0	6	152.0
6	152.0	2	51.0	3 1/2	89.0	4 1/2	104.3	5	127.0	6 1/2	165.1
8	203.0	2	51.0	3 1/2	89.0	4 1/2	104.3	5	127.0	6 1/2	165.1
10	254.0	2	51.0	4	102.0	4 1/2	104.3	5 1/2	139.7	7	177.8
12	304.0	2	51.0	4	102.0	5	127.0	5 1/2	139.7	7	177.8

ESPEORES RECOMENDADOS PARA AISLAMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO PARA TUBERIAS FRIAS CON UNA TEMPERATURA DE 27°C (80°F) Y UNA HUMEDAD RELATIVA DE 90 %

TABLA 3-5

\* Los espesores mayores de 64 mm (2 1/2") no son de fabricación estandar. Estos espesores pueden obtenerse por anidamiento de tuberias estandar

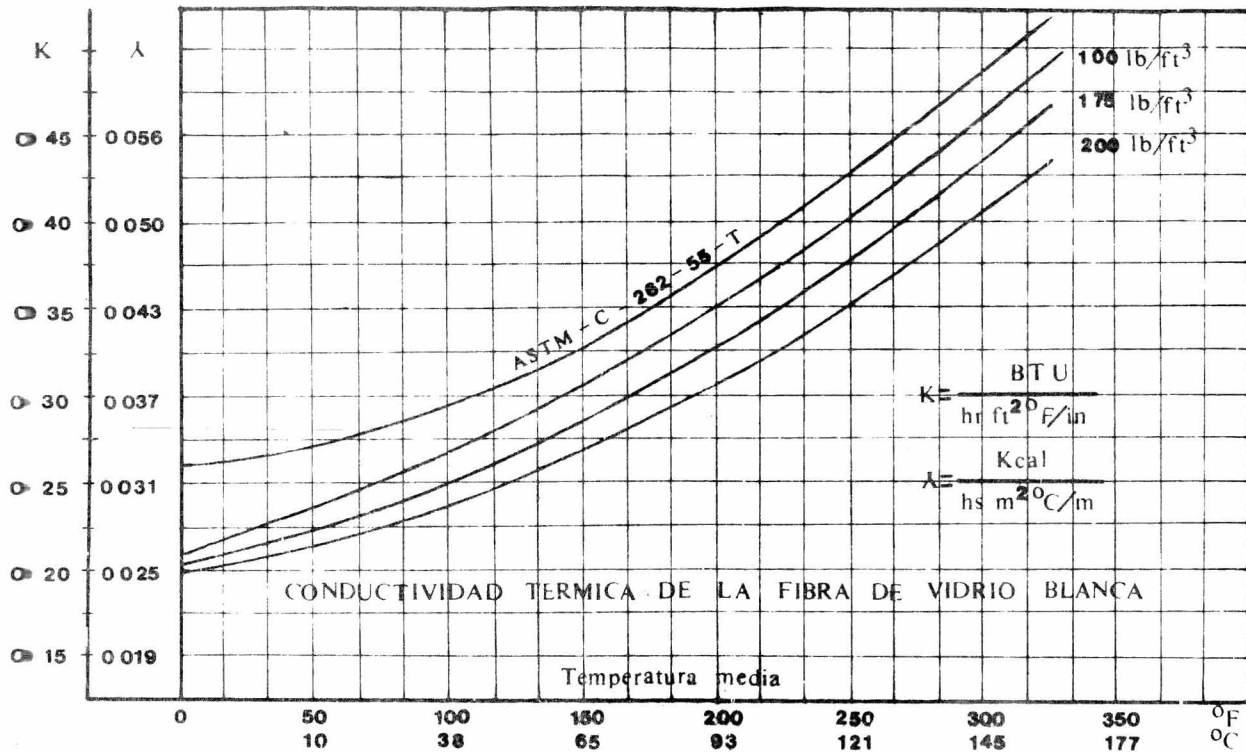
Difusividad térmica 0.0014 m<sup>2</sup>/hr. a 24°C (75°F)  
a temperatura promedio (0.015 ft<sup>2</sup>/hr.)  
Conductividades térmicas de preformados de fibra de vidrio  
a distintas temperaturas medias. (ver graf. 3-4)

Espesores recomendados (ver tablas ---  
3-2, 3-3, 3-4, 3-5)

2) Fibra de vidrio blanca.- Su apariencia es se-  
mejante a la del algodón. Consiste en fibra de vidrio con  
pequeñas cantidades de aceite lubricante que la hacen malea-  
ble y le da resistencia a la abración. Para usos especia-  
les el aceite puede ser eliminado con bencina.

Este producto se surte en rollos con envoltura -  
de papel Kraft, en las dimensiones standar siguientes:

Densidad		Espesores		Ancho	Largo
lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	Pulg	cm		
1.00	16	3/4 a 5 1/2	1.9 a 13.3	24" (61 cm) y 48" (122 cm)	600" (15.20m) y 1200" (30.40m)
1.25	20	3/4 a 4 1/2	1.9 a 10.8		
1.50	24	1/2 a 3 1/2	1.3 a 8.9		
1.75	28	1/2 a 3	1.3 a 7.6		
2.00	32	1/2 a 2 1/2	1.3 a 6.4		
2.50	40	1/2 a 2	1.3 a 5.1		
3.00	48	1/2 a 1 3/4	1.3 a 4.4		



Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

G-3-5

Entre las ventajas que éste material ofrece están: su excelente eficiencia como aislante térmico, - alta eficiencia como aislante acústico, gran flexibilidad, ligero elástico y no favorece a la corrosión.

#### PROPIEDADES FISICAS

Conductividad térmica: varía de 0.409 a 0.336 Kg cal/hr M<sup>2</sup> °C/m (0.275 a 0.226 BTU-in/hr sqft°F) - de acuerdo a las variaciones de densidad de 16 a 48 -- Kg/m<sup>3</sup> (1 a 3 lb/cft.)

Calor específico 0.20 BTU/lb°F

Difusividad térmica: 0.015 aqft/hr. a 75°F.  
Conductividad térmica de la fibra de vidrio blanca a diferentes temperaturas medias (Ver graf. 3-5 )

Por las ventajas anteriores este material - ofrece la solución a muchos problemas de aislamiento, garantizando que el espacio donde se usa se llena completamente, asegurando una alta eficiencia térmica para temperaturas de operación hasta 538°C (1000°F).

3) Colchonetas de fibra de vidrio blanca.- Se fabrican con fibra de vidrio blanca con distintos recubrimientos metálicos en densidad de 48 y 96 Kg/m<sup>3</sup> - - ( 3 y 6 lb/ft<sup>3</sup>). Constituyen el aislamiento más apropiado para equipos industriales, cuyas temperaturas de operación no excedan de los 538°C (1000°F). Son es-

peciales para equipos que presentan superficies irregulares.

#### Recubrimientos metálicos para colchonetas

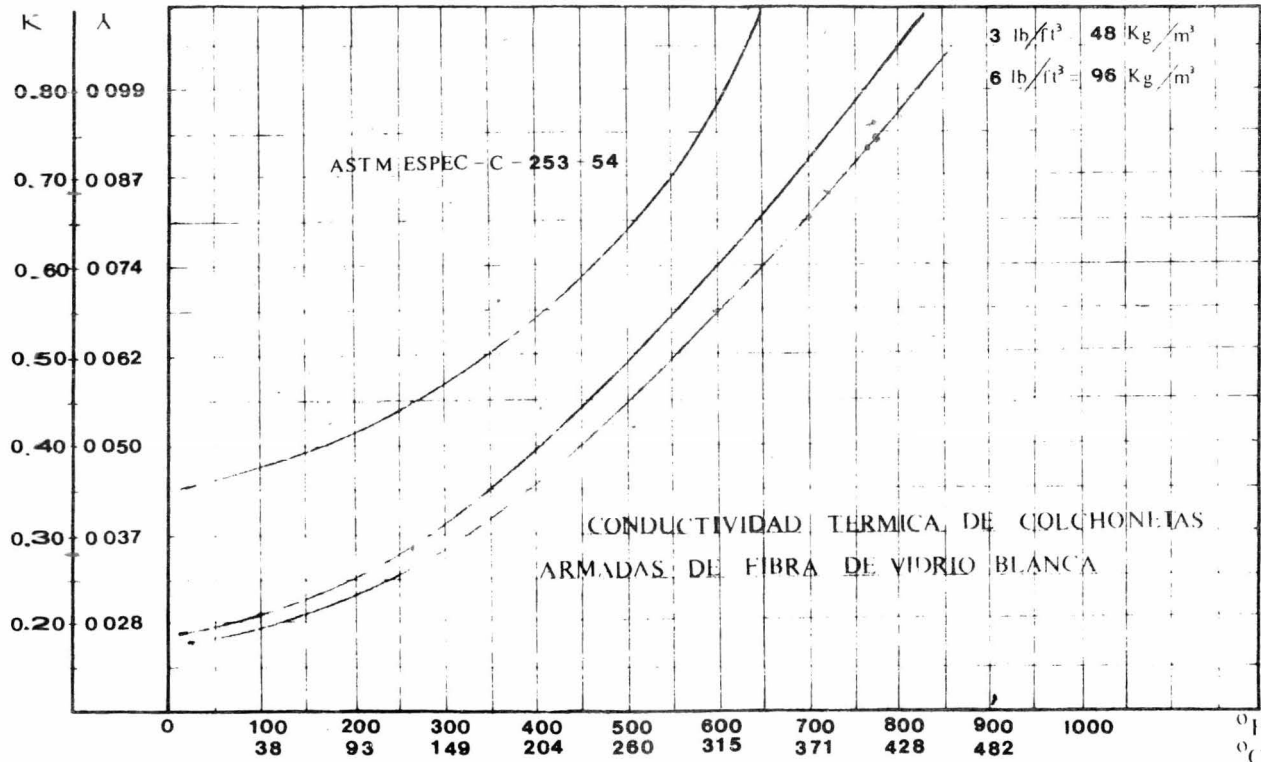
- 1) Cara exterior con metal desplegado  
Cara interior con malla de gallinero
- 2) Cara exterior con malla de gallinero  
Cara interior con malla de gallinero
- 3) Cara exterior con metal desplegado  
Cara interior con metal desplegado
- 4) Cara exterior con metal desplegado  
Cara interior con tiras de metal desplegado.

#### Usos:

1) Es el mas usual, la cara exterior con metal desplegado facilitan la colocación de acabados (cementos molíticos).

2) Se recomienda cuando se necesita una superficie elástica que se adapte a las irregularidades de las superficies de los equipos. La malla de gallinero no retiene los acabados usuales pero podría usarse lámina metálica.

3) Se recomienda donde se requiere una colchoneta con gran rigidez. El metal desplegado sobre la superficie caliente es ventajoso porque forma cámaras de aire y el metal desplegado exterior facilita la instalación.



Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

G-3-6

de los acabados. (Cementos monolíticos)

4) Se recomienda para tuberías y equipos con curvaturas pequeñas.

Comercialmente se pueden obtener en las siguientes medidas:

DENSIDAD		ESPESOR		ANCHO		LARGO	
lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	mm	in	m	in	m	in
3.00	48	25 a 10.2	1 a 4	0.61	24	2.25	88
6.00	96	25 a 10.2	1 a 4	0.61	24	2.25	88

Las ventajas que éste material ofrece son: Su buena eficiencia térmica, gran resistencia a la vibración, no favorece la corrosión, es fácil su instalación, da acabados tersos y larga duración.

Conductividad térmica de colchonetas armadas de fibra de vidrio blanca a diferentes temperaturas medias (Ver graf. 3-6).

A continuación se dan tablas para seleccionar el espesor recomendado para equipos y tuberías. (Ver tablas 3-6 y 3-7).

4) Fibra de vidrio flexible.- formada por fibra de vidrio de pequeño diámetro aglutinadas con resina fenólica. Se fabrica en rollos y en placas en las siguientes dimensiones:

Temperatura de operación		Espesor recomendado		Temp. aproximada de superficie obtenida	
°C	°F	Pulg	cm	°C	°F
hasta 93	hasta 200	1	2.54	35	96
93 a 149	201 a 300	1 1/2	3.81	38	101
150 a 204	301 a 400	2	5.08	41	106
205 a 260	401 a 500	2	5.08	48	119
261 a 315	501 a 600	2 1/2	6.35	50	123
316 a 371	601 a 700	3	7.62	54	130
372 a 426	701 a 800	3 1/2	8.89	57	136
427 a 482	801 a 900	4	10.16	61	142
483 a 532	901 a 1000	5	12.70	61	142

## ESPEORES RECOMENDADOS PARA EQUIPOS

TABLA 3-6

Temperaturas de operación		Espesores recomendados					
		Diámetro tubo de 2" (51mm) a 4" (102mm)		Diámetro tubo de 4 1/2" a 6"		Diámetro tubo de 7" o más	
C	F	Pulg	cm	Pulg	cm	Pulg	cm
hasta	hasta	1	2.54	1	2.54	1	2.54
121 a 177	250 a 350	1 1/2	3.81	1 1/2	3.81	1 1/2	3.81
177 a 232	350 a 450	1 1/2	3.81	1 1/2	3.81	2	5.08
232 a 288	450 a 550	1 1/2	3.81	2	5.08	2	5.08
288 a 343	550 a 650	2	5.08	2	5.08	2 1/2	6.35
343 a 399	650 a 750	2	5.08	2 1/2	6.35	2 1/2	6.35
399 a 454	750 a 850	2 1/2	6.35	2 1/2	6.35	3	7.62
454 a 532	850 a 1000	3	7.62	3	7.62	4	10.16

## ESPEORES RECOMENDADOS PARA TUBERIA

TABLA 3-7



PRESENTACION	ESPESOR		ANCHO		LARGO	
	Pulg.	Cm.	Pulg.	Cm.	Pulg.	Cm
Rollos	1/2"	1.3	24	61	600	15.24
	a		y		y	
	4"	10.2	48	1.22	1200	30.50
Placas	1/2"	1.3				
	a		24	61	48	1.22
	5	12.7				

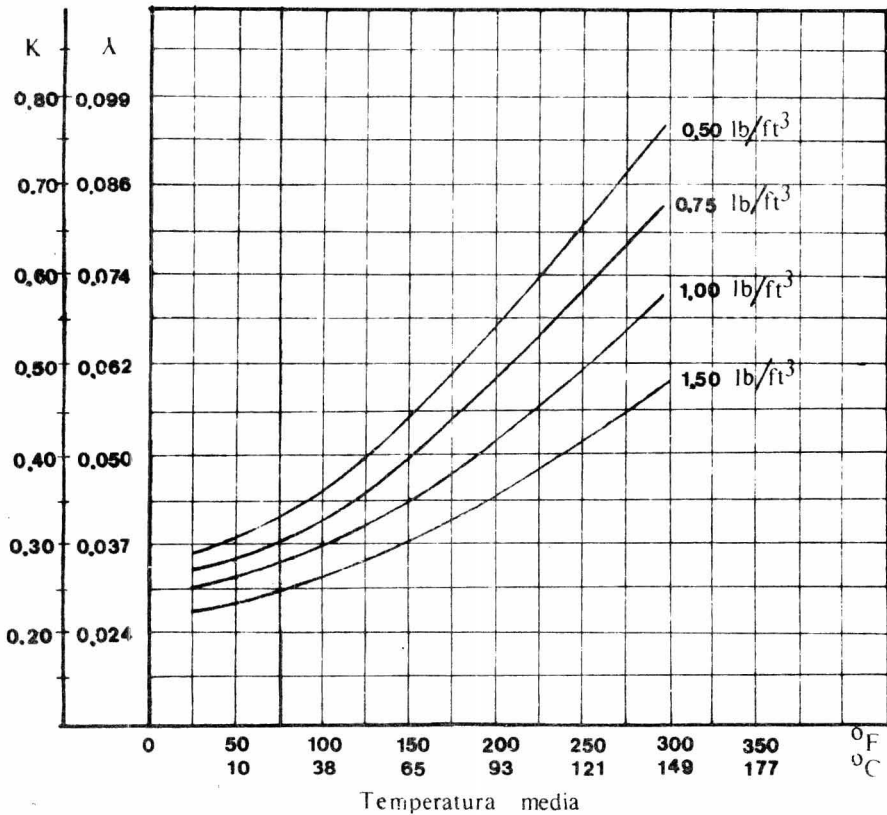
Se usan principalmente para el aislamiento de ductos de aire acondicionado, por lo que se pueden encontrar con los siguientes recubrimientos: hoja de aluminio de 0.0025", papel Kraft de 80 gr/m<sup>2</sup>, papel Kras - falso o neopreno.

#### PROPIEDADES FISICAS:

La fibra de vidrio flexible tiene un factor de conductividad que varía de acuerdo al cambio de densidad como se muestra en el siguiente cuadro.

D E N S I D A D		K	L
lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	<u>BTU in</u>	<u>K Cal m</u>
		ft <sup>2</sup> hr °F	M <sup>2</sup> hr °C
De 0.5	8.0	0.316	0.339
A 2.5	40.0	0.220	0.0273

Conductividad térmica de fibra de vidrio flexible para distintas temperaturas promedio (Ver graf. 5-7)



$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}}$$

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA FIBRA DE VIDRIO FLEXIBLE

Manual para la Selección e Instalación de Aislamientos Térmicos

G-5-7

Los espesores recomendados que se dan a continuación son para aislar ductos que operan a baja temperatura, en los que siempre se recomienda usar una barrera de vapor.

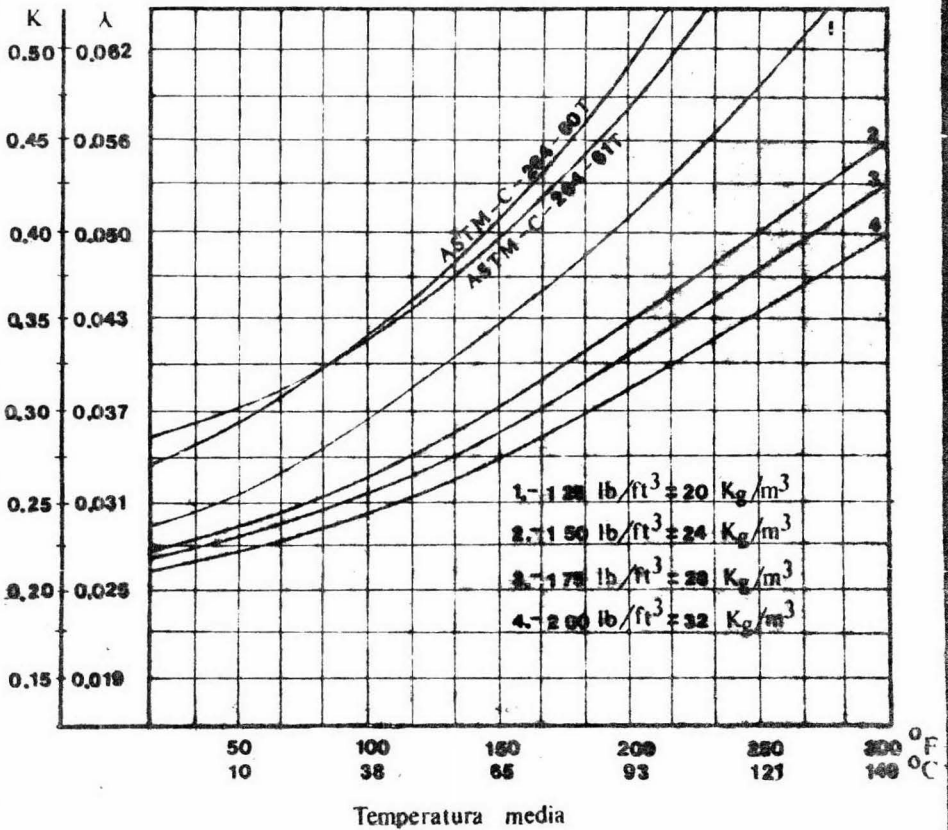
DIFERENCIA DE TEMPERATURA		ESPESOR RECOMENDADO		GANANCIA DE CALOR		HUMEDAD RELATIVA PERMISIBLE	
°C	°F	mm.	Pulg	BTU/ft <sup>2</sup> hr	Kcal/m <sup>2</sup> hr	hr	%
11.06	77.5	19	3/4	6.1	0.756		90
13.83	82.5	19	3/4	7.6	0.942		88
16.59	87.4	25	1	6.9	0.856		89
19.36	92.4	25	1	8.0	0.992		88
22.12	97.4	38	1 1/2	6.4	0.794		90
24.89	102.40	38	1 1/2	7.2	0.893		88
27.65	107.30	51	2	5.9	0.732		90

5) Fibra de vidrio semirígida y rígida. Como la fibra de vidrio flexible, ésta está aglutinada también con resinas fenólicas, indicando la densidad en que se proporciona la rigidez del material.

Los materiales semirígidos se proporcionan en densidades de: 16 a 92 Kg/m<sup>3</sup> ( 1 a 2 lb/ft<sup>3</sup>)

Los materiales rígidos se encuentran en densidades de 64 a 96 Kg/m<sup>3</sup> (4 a 16 lb/ft<sup>3</sup>)

Estas fibras solamente se encuentran en placas: en las dimensiones que se muestran en la tabla ( 3-9 ).



$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA FIBRA DE VIDRIO  
 SEMIRIGIDA

Manual para la Selección e Instalación  
 de Aislamientos Térmicos

G-5-8

Condiciones de humedad		90% H.R.		85% H.R.		80% H.R.	
Temperatura de operación		Espesor recomendado					
°C	°F	Pulg	cm	Pulg	cm	Pulg	cm
hasta 10	hasta 50	2	5.08	1	2.54	3/4	1.91
de 9 a 1	de 48 a 33	3	7.62	1 1/2	3.81	1	2.54
0 a -17	32 a 1	4	10.16	2 1/2	6.31	2	5.08
-18 a -34	0 a -30	5 1/2	13.97	3 1/2	8.89	2 1/2	6.35
-35 a -51	-31 a -60	7	17.78	4	10.16	3	7.62
-52 a -84	-61 a -120	8 1/2	21.59	5	12.70	3 1/2	8.89

ESPEORES RECOMENDADOS PARA FIBRA DE VIDRIO RIGIDA

TABLA 3-8

Densidad		Espesores		Largo		Ancho	
lb/ft	kg/m	Pulg	cm	Pulg	cm	Pulg	cm
1.0	16	1 a 5	2.5 a 12.7	24 a 48	61 a 122	24	61
1.25	20	1 a 5	2.5 a 12.7	24 a 48	61 a 122	24	61
1.50	24	1 a 4 1/2	2.5 a 11.0	24 a 48	61 a 122	24	61
1.75	28	1 a 3 1/4	2.5 a 9.5	24 a 48	61 a 122	24	61
2.00	32	1 a 3 1/2	2.5 a 8.9	24 a 48	61 a 122	24	61
4.00	64	1 a 3 1/2	2.5 a 9.5	24 y 36 a 48	61 y 91 a 122	12 y 24	30.5 y 61
6.00	96	1 a 2 1/2	2.5 a 6.4	24 y 36 a 48	61 y 91 a 122	12 y 24	30.5 y 61

DIMENSIONES Y ESPEORES DE FIBRA DE VIDRIO RIGIDA Y SEMIRIGIDA

TABLA 3-9

PROPIEDADES FISICAS:

La conductividad térmica varía de acuerdo a la densidad del material de que se trata, como se ve en la siguiente tabla:

DENSIDAD lb/ft <sup>3</sup>	CONDUCTIVIDAD	
	$\frac{\text{BTU in}}{\text{ft}^2 \text{ hr}^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{K Cal m}}{\text{m}^2 \text{ hr}^\circ\text{C}}$
De 1 a 2	0.235 a 0.31	0.029 a 0.038
De 4 a 6	0.230 a 0.243	0.027 a 0.038

Conductividad térmica de la fibra de vidrio semirígida a diferentes temperaturas medias (Ver. graf. 3-8)

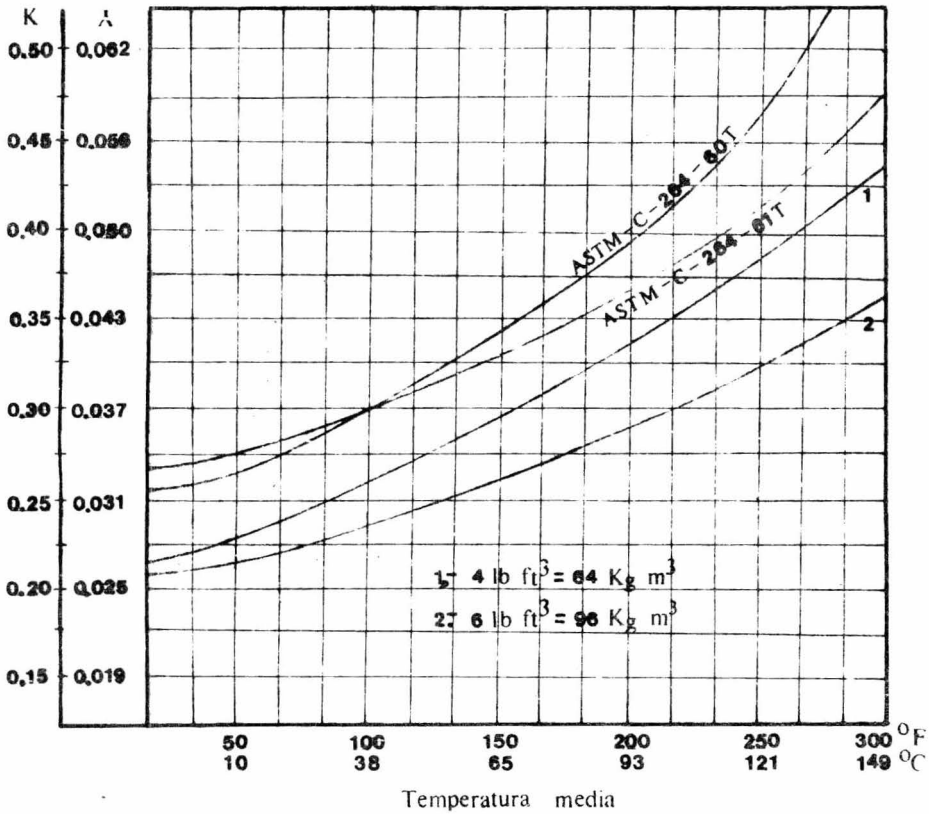
Conductividad térmica de la fibra de vidrio rígida a diferentes temperaturas medias (Ver graf. 3-9)

Los materiales rígidos, por su menor conductividad térmica se recomiendan para el aislamiento de equipos industriales de bajas temperaturas del orden de -30°C o más bajas. Se recomiendan distintos espesores de acuerdo a humedades ambientales promedio. (T-3-8).

Sin embargo la fibra de vidrio siempre ha tenido muchos enemigos por el malestar que produce a las personas que la trabajan en instalación. Este malestar se manifiesta en perturbaciones en la piel, parecidas a las que se sufren con una urticaria.

X Silicato de calcio y fibra de asbesto.

Este tipo de material es fabricado mediante procesos químicos no divulgados, a base principalmente

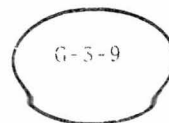


$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA FIBRA DE VIDRIO  
RIGIDA

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos



de silicato de calcio hidratado, fibra de asbesto larga y un inhibidor químico para evitar los efectos de corrosión en el acero inoxidable.

Tienen la característica de tener gran resistencia mecánica, tal que un hombre puede subirse en el material preformado sin que ello origine roturas como sucede con otros materiales aislantes; puede mojarse hasta saturarse completamente en agua, sin pérdidas apreciables de sus cualidades térmicas al secarse.

#### PROPIEDADES FISICAS:

Densidad aproximada  $176 \text{ Kg/m}^3$  (11 lb/cft)

Resistencia a la flexión: (ASTM 0-446)  $3.5 \text{ Kg/cm}^2$  ( 50 lb/scft.)

Alcalinidad:  $p^H$  10

Calor específico:  $0.015 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$  ( $0.22 \text{ BTU lb/}^\circ\text{F}$ )

Conductividad térmica de silicato de calcio a diferentes temperaturas medias. (Ver graf. 3-10)

Su temperatura límite de aplicación es de  $650^\circ\text{C}$  ( $1200^\circ\text{F}$ ) Se fabrica en forma de tubos preformados y en bloques, dando las siguientes tablas para los espesores recomendados:

Espesores recomendados para tubos preformados --  
(Ver tablas 3-10 y 3-11)

Espesores recomendados para bloques (Ver tabla 3-12)



Temperatura de la tubería		200 °F 93 °C				400 °F 204 °C				600 °F 315 °C				800 °F 426 °C				1000 °F				1200 °F			
Diferencia de temperatura		120 °F 66 °C				320 °F 160 °C				520 °F 271 °C				720 °F 378 °C				920 °F				1120 °F			
Diámetro nominal		Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado			
Pulg	mm	Pulg	mm	°F	°C	Pulg	mm	°F	°C	Pulg	mm	°F	°C	Pulg	mm	°F	°C	Pulg	mm	°F	°C	Pulg	mm	°F	°C
1/2	13.0	1	25	95	34.9	1	25	122	49.9	1	25	152	66.6	1	25	187	86.0	1	25	228	108.7	1 1/2	38	198	92.1
3/4	19.0	1	25	98	36.6	1	25	129	53.8	1	25	166	74.3	1	25	207	97.1	1	25	254	123.2	1 1/2	38	215	101.5
1	25.4	1	25	95	34.9	1	25	123	50.5	1	25	154	67.7	1	25	190	87.7	1 1/2	38	179	81.5	1 1/2	38	211	99.4
1 1/4	32.0	1	25	99	37.1	1	25	143	61.6	1	25	173	78.2	1	25	218	103.2	1 1/2	38	179	81.5	1 1/2	38	211	99.3
1 1/2	38.0	1	25	97	37.1	1	25	128	53.2	1	25	163	72.7	1 1/2	38	161	71.6	1 1/2	38	192	88.8	1 1/2	38	227	108.2
2	51.0	1	25	98	36.6	1	25	130	54.4	1	25	166	74.3	1 1/2	38	163	72.7	1 1/2	38	194	89.9	2	51	188	86.5
2 1/2	64.0	1	25	98	36.6	1	25	131	54.9	1 1/2	38	128	53.2	1 1/2	38	151	66.0	2	51	155	68.2	2	51	179	81.5
3	76.0	1	25	100	38.0	1	25	135	57.1	1 1/2	38	141	60.5	1 1/2	38	171	77.1	2	51	173	78.2	2 1/2	64	176	79.9
4	102.0	1	25	99	37.1	1	25	134	56.6	1 1/2	38	144	62.1	2	51	150	65.4	2	51	177	80.4	2 1/2	64	181	82.6
5	127.0	1	25	100	38.0	1	25	137	58.2	1 1/2	38	147	63.8	2	51	154	67.7	2	51	183	83.8	2 1/2	64	184	84.3
6	152.0	1	25	102	34.4	1 1/2	38	121	48.9	1 1/2	38	152	66.6	2	51	157	69.3	2	51	186	85.1	2 1/2	64	190	87.6
8	203.0	1 1/2	38.0	95	34.4	1 1/2	38	121	48.9	1 1/2	38	151	66.0	2	51	159	70.4	2 1/2	64	162	72.1	3	76	170	76.5
10	254.0	1 1/2	38.0	94	34.4	1 1/2	38	120	48.8	2	51	133	56.0	2 1/2	51	143	61.6	2 1/2	64	167	74.9	3 1/2	89	162	72.1
12	304.0	1 1/2	38.0	94	34.4	1 1/2	38	120	48.8	2	51	135	57.1	2 1/2	64	146	63.2	2 1/2	64	171	77.1	3 1/2	89	165	73.1
14	355.0	1 1/2	38.0	96	35.5	1 1/2	38	125	51.6	2	51	139	59.3	2 1/2	64	150	65.4	2 1/2	64	177	77.1	3 1/2	89	169	76.0
16	406.4	1 1/2	38.0	96	35.5	1 1/2	38	126	52.1	2	51	140	59.9	2 1/2	64	151	66.0	2 1/2	64	179	81.5	3 1/2	89	171	77.1
18	457.0	1 1/2	38.0	97	36.1	1 1/2	38	126	52.1	2	51	141	60.5	2 1/2	64	152	66.6	3	76	162	72.1	3 1/2	89	173	78.2
20	508.0	1 1/2	38.0	97	36.1	1 1/2	38	127	52.7	2	51	141	60.5	2 1/2	64	153	67.1	3	76	163	72.7	3 1/2	89	174	78.8
24	609.0	1 1/2	38.0	97	36.1	1 1/2	38	127	52.7	2	51	142	61.5	2 1/2	64	154	67.7	3	76	165	73.8	3 1/2	89	175	79.3

ESPESOR RECOMENDADO PARA TUBERIAS DE PROCESO AISLADAS CON SILICATOS DE CALCIO

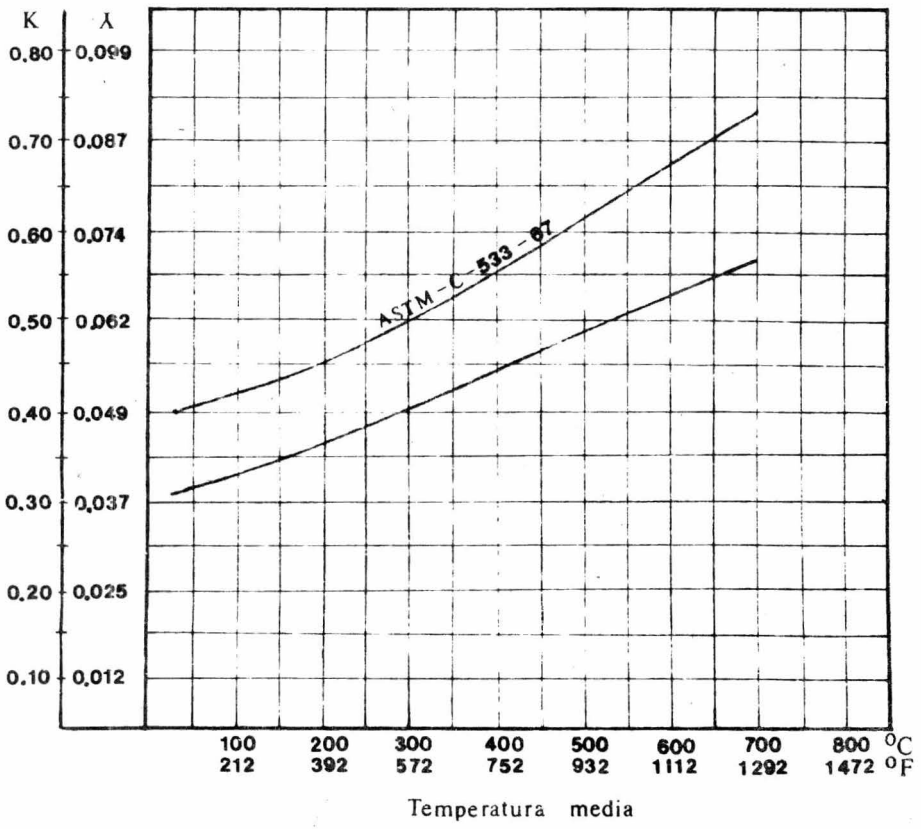
Temperatura de la tubería		200 °F 93 °C				400 °F 204 °C				600 °F 315 °C				800 °F 426 °C				1000 °F				1200 °F								
Diferencia de temperatura		120 °F 66 °C				320 °F 160 °C				520 °F 271 °C				720 °F 378 °C				920 °F				1120 °F								
Diámetro nominal		Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado				Espesor Recomendado								
Pulg		mm		°F	°C	Pulg	mm		°F	°C	Pulg	mm		°F	°C	Pulg	mm		°F	°C	Pulg	mm		°F	°C	Pulg	mm		°F	°C
1/2	13.0	1	25.	95	34.9	1	25.4	122	50.0	1 1/2	38.0	123	50.5	1 1/2	38	145	62.7	2	51.0	144	62.2	2 1/2	64.0	136	57.7					
3/4	19.0	1	25.	98	36.6	1	25.4	129	53.8	1 1/2	38.0	130	54.0	2	51	132	55.5	2	51.0	153	67.2	2 1/2	64.0	143	51.6					
1	25.4	1	25.	95	34.9	1	25.4	123	50.5	1 1/2	38.0	128	53.3	2	51	131	55.0	2 1/2	64.0	133	56.1	3	76.0	137	58.3					
1 1/4	32.0	1	25.	99	37.1	1	25.4	134	56.0	1 1/2	38.0	128	53.3	2	51	140	60.0	2 1/2	64.0	142	61.1	3	76.0	145	62.7					
1 1/2	38.0	1	25.	97	36.1	1	25.4	123	50.5	1 1/2	38.0	134	56.6	2 1/2	64	119	48.3	2 1/2	64.0	134	56.6	3	76.0	139	59.4					
2	51.0	1	25.	98	36.6	1 1/2	38.0	112	44.4	1 1/2	38.0	136	57.7	2 1/2	64	126	52.2	2 1/2	64.0	144	62.2	3	76.0	148	64.4					
2 1/2	64.0	1	25.	98	36.6	1 1/2	38.0	107	41.6	2	51.0	116	46.6	2 1/2	64	123	50.5	3	76.0	129	53.8	3 1/2	89.0	134	56.6					
3	76.0	1	25.	100	38.0	1 1/2	38.0	115	46.1	2	51.0	125	51.6	2 1/2	64	132	55.5	3	76.0	139	59.4	3 1/2	89.0	143	61.6					
4	102.0	1	25.	99	37.1	1 1/2	38.0	117	47.2	2 1/2	64.0	117	47.2	3	76	124	51.1	3 1/2	89.0	131	55.0	4	102.0	137	58.3					
5	127.0	1	25.	100	38.0	1 1/2	38.0	119	48.3	2 1/2	64.0	118	47.7	3	76	126	52.2	3 1/2	89.0	134	56.6	4	102.0	139	59.4					
6	152.0	1	25	102	34.4	2	51.0	110	43.0	2 1/2	64.0	120	49.0	3	76	129	53.8	3 1/2	89.0	135	57.2	4 1/2	114.0	129	53.8					
8	203.0	1 1/2	38.0	95	34.4	2	51.0	110	43.0	2 1/2	64.0	120	49.0	3 1/2	89	122	50.0	4	102.0	130	54.0	4 1/2	114.0	139	59.4					
10	254.0	1 1/2	38.0	94	34.4	2	51.0	110	43.0	3	76.0	115	46.1	3 1/2	89	125	51.6	4	102.0	134	56.6	5	127.0	135	57.2					
12	304.0	1 1/2	38.0	94	34.4	2	51.0	111	43.8	3	76.0	116	46.6	4	102	120	49.0	4 1/2	114.0	129	53.8	5	127.0	137	58.3					
14	355.0	1 1/2	38.0	94	34.4	2 1/2	64.0	112	44.4	3	76.0	119	48.3	4	102	122	50.0	4 1/2	114.0	131	55.0	5 1/2	140.0	134	56.6					
16	406.4	1 1/2	38.0	96	35.5	2 1/2	64.0	107	41.6	3	76.0	119	48.3	4	102	123	50.5	4 1/2	114.0	132	55.5	5 1/2	140.0	135	57.2					
18	457.0	1 1/2	38.0	96	35.5	2 1/2	64.0	107	41.6	3	76.0	120	49.0	4	102	124	51.1	4 1/2	114.0	133	56.1	5 1/2	140.0	137	58.3					
20	508.0	1 1/2	38.0	97	36.1	2 1/2	64.0	108	42.2	3	76.0	120	49.0	4	102	124	51.1	4 1/2	114.0	134	56.6	5 1/2	140.0	137	58.3					
24	609.0	1 1/2	38.0	97	36.1	2 1/2	64.0	108	42.2	3	76.0	115	46.1	4 1/2	114	120	49.0	5	127.0	129	53.8	6	152.0	133	56.1					

ESPEORES RECOMENDADOS PARA AISLAMIENTO DE SILICATO DE CALCIO PARA  
PARA LINEAS DE PROCESO EN TERMoeLECTRICAS

Temperatura de operación		Comercial				Energía				Proceso			
		Espesor recomendado		Temperatura de superficie		Espesor recomendado		Temperatura de superficie		Espesor recomendado		Temperatura de superficie	
°C	°F	mm	Pulg	°F	°C	mm	Pulg	°F	°C	mm	Pulg	°F	°C
93	200	25	1	103	39.4	25	1	103	39.4	25	1	103	39.4
149	300	38	1 1/2	110	43.3	25	1	119	48.3	25	1	119	48.3
204	400	64	2 1/2	108	42.2	38	1 1/2	122	50.0	25	1	138	58.9
260	500	89	3 1/2	108	42.2	51	2	126	52.2	38	1 1/2	136	57.8
315	600	114	4 1/2	108	42.2	64	2 1/2	128	53.3	38	1 1/2	148	64.4
371	700					76	3	129	53.9	51	2	145	62.8
426	800					102	4	124	51.1	64	2 1/2	144	62.2
482	900					114	4 1/2	127	52.8	76	3	144	62.2
538	1000					139	5 1/2	125	51.7	89	3 1/2	144	62.2
593	1100					152	6	126	52.2	102	4	143	61.7
648	1200					165	6 1/2	127	52.8	114	4 1/2	143	61.7

ESPESORES RECOMENDADOS PARA BLOQUES DE SILICATO DE CALCIO ANHIDRO

TABLA 3-12



$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL SILICATO DE CALCIO

Manual para la Selección e Instalación de Aislamientos Térmicos



\* Tierra diatomacea, vermiculita exfoliada y asbesto.

Son los materiales que mezclados con un material aglomerante se usan en la fabricación de medias cañas preformadas y bloques, para temperaturas hasta de 1,063°C (1,950°F). Este material aislante es uno de los mas resistentes en el mercado.

Los preformados se suministran en dos medias-cañas forradas con una loneta, en tramos de 0.91 m. (3") para tuberías Standard desde 13 mm. (1/2") hasta 203 mm. (8"), en espesores de 25 mm. (1") hasta 102 mm. (4").

Los bloques se surten en las siguientes dimensiones:

152 mm. (6") x 457 mm. (18")

152 " (6") x 914 " (36")

304 " (12") x 457 " (18")

304 " (12") x 914 " (36")

En espesores de 25 mm. (1") a 102 mm. (4")

\* Espuma de Poliestireno.

Es una espuma de estructura celular cerrada, es un material que conserva sus propiedades indefinidamente; ya que: no se contrae ni se pudre, es estable frente al agua, agua de mar, acidos y alcalis, a excepción del ácido nítrico concentrado.

Temperatura de superficie °C	16 a 7		6 a -1		-2 a -18		-19 a -46		-47 a -73		-74 a -101		-102 a -129	
	Espesor recomendado													
Diámetro nominal	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg
1/2	25	1	25	1 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2
3/4	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	76	3
1	25	1	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3
1 1/4	25	1	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	76	3
1 1/2	25	1	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	76	3
2	25	1	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	89	3 1/2
2 1/2	25	1	25	1	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2
3	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2
4	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2
5	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2
6	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	89	3 1/2	102	4
8	25	1	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	89	3 1/2	102	4
10	25	1	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2
12	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/4
14	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2
18	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2
24	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	102	4	127	5

ESPEORES RECOMENDADOS PARA PREFORMADOS DE POLIESTIRENO (para una temperatura ambiente de 32°C y 80% de humedad relativa)

Temperatura de superficie °C	16 a 7		6 a -1		-2 a -18		-19 a -46		-47 a -73		-74 a -101		-102 a -129	
Diámetro nominal	Espesor recomendado													
	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg
1/2	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	89	3 1/2
3/4	25	1	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2
1	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2
1 1/4	25	1	38	1 1/2	51	2	51	2	64	2 1/2	76	3	102	4
1 1/2	25	1	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	102	4
2	25	1	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	102	4
2 1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2
3	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2
4	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	102	4	114	4 1/2
5	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	102	4	127	5
6	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	102	4	127	5
8	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2	140	5 1/2
10	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2	140	5 1/2
12	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2	152	6
14	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	89	3 1/2	114	4 1/2	152	6
18	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	89	3 1/2	102	4	127	5	152	6
24	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	89	3 1/2	102	4	127	5	152	6

ESPESORES RECOMENDADOS PARA PREFORMADOS DE POLIESTIRENO (para una temperatura ambiente de 32°C y 85% de humedad relativa)

TABLA 3-14

Temperatura de superficie °C		16 a 7		6 a -1		-2 a -18		-19 a -46		-47 a -73		-74 a -101		-102 a -129	
Diam. nominal		Espesor recomendado													
mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg	mm	Pulg
13	1/2	38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	87	3 1/2	114	4 1/2
19	3/4	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	64	2 1/2	76	3	102	4	127	5
25	1	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	87	3 1/2	102	4	127	5
32	1 1/4	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	87	3 1/2	102	4	139	5 1/2
38	1 1/2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	87	3 1/2	114	4 1/2	139	5 1/2
51	2	38	1 1/2	51	2	64	2 1/2	76	3	87	3 1/2	114	4 1/2	152	6
64	2 1/2	51	2	51	2	76	3	87	3 1/2	102	4	127	5	152	6
76	3	51	2	51	2	76	3	87	3 1/2	102	4	127	5	165	6 1/2
102	4	51	2	64	2 1/2	76	3	87	3 1/2	102	4	127	5	165	6 1/2
127	5	51	2	64	2 1/2	87	3 1/2	102	4	114	4 1/2	139	5 1/2	177	7
152	6	51	2	64	2 1/2	87	3 1/2	102	4	127	5	152	6	190	7 1/2
203	8	51	2	64	2 1/2	87	3 1/2	102	4	127	5	152	6	190	7 1/2
250	10	51	2	64	2 1/2	87	3 1/2	114	4 1/2	127	5	152	6	190	7 1/2
304	12	51	2	64	2 1/2	87	3 1/2	114	4 1/2	127	5	152	6	190	7 1/2
355	14	51	2	64	2 1/2	87	3 1/2	114	4 1/2	139	5 1/2	165	6 1/2	203	8
457	18	51	2	76	3	102	4	114	4 1/2	139	5 1/2	165	6 1/2	216	8 1/2
609	24	51	2	76	3	102	4	114	4 1/2	139	5 1/2	177	7	228	9

ESPEORES RECOMENDADOS PARA PREFORMADOS DE POLIESTIRENO (para una temperatura ambiente de 32°C y 90 % de humedad relativa)

TABLA 3-15



Este material no debe usarse en combinación de solventes como: gasolina, benceno, tolueno, xileno, etc. y aceites minerales.

La espuma de poliestireno se presenta en el mercado en dos densidades:

Normal de  $17 \text{ Kg/m}^3$  y de alta densidad de  $25 \text{ Kg/m}^3$ .

Se surte en preformados para tuberías desde 13 mm.  $\emptyset$  (1/2") hasta 508 mm. (20"), y en espesores - Standard y especiales, en tramos de 1.0 m. de longitud.

Y en bloques o placas de:

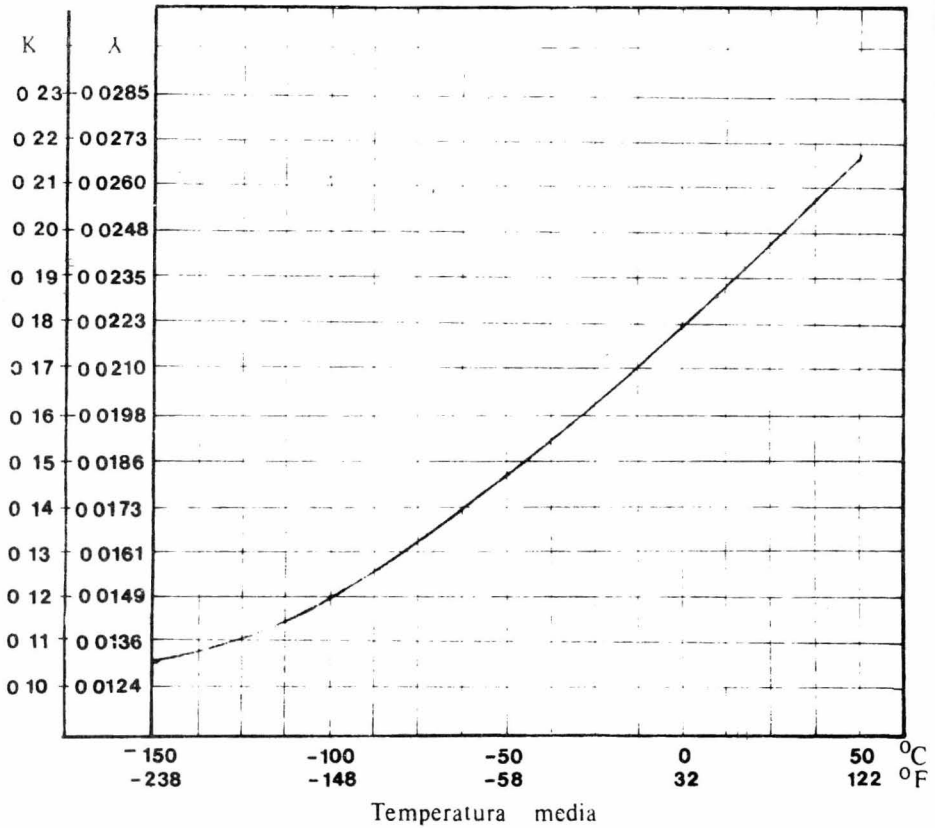
LARGO	ANCHO	ESPEORES
M	M	MM
3.0	1.30	10 a 500
2.44	1.22	10 a 500
2.00	1.00	10 a 500
1.22	1.22	10 a 500
1.22	0.61	10 a 500
1.00	1.00	10 a 500

Espesores recomendados ( Ver tablas 3-13,14 y 15)

Conductividades térmicas a diferentes temperaturas medias ( Ver. graf. 3-11).

P R O P I E D A D E S F I S I C A S

	STYROLIT R N y AE		STYROLIT R AD	
Densidad ( + 1 m <sup>3</sup> ).	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ 17	$\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$ 1.06	$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ 25	$\frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$ 1.56
Coef.de transferencia de calor a 0°C (32°F).	$\frac{\text{Kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$ 0.031	$\frac{\text{BTU plg}}{\text{pie}^2\text{h}^\circ\text{F}}$ 0.25	$\frac{\text{Kcal.}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$ 0.027	$\frac{\text{BTU plg}}{\text{pie}^2\text{h}^\circ\text{F}}$ 0.21
Temperatura máxima de -- trabajo, bajo carga. (1.000 Kg/m <sup>2</sup> ).	80°C	176°F	83°C	181°F
Temperatura mínima de -- trabajo (practicamente - ilimitada). óptima.	- 1500 C	- 238°F	- 150°C	- 238°F
Resistencia a la compresión (10% deformación).	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 0.7	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 9.9	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 1.2	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 17.1
Resistencia a la tensión.	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 2.5	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 35.6	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 3.2	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 45.5
Resistencia al corte	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 6.6	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 94	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 8.5	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 121
Resistencia a la flexión	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 2.07	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 29.4	$\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 3.2	$\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$ 45.5
Permeabilidad al vapor de agua (3 cm.20°C y 65% - 0% HR).	$\frac{\text{g}}{\text{m}^2\text{h}}$ 1.4	$\frac{\text{oz}}{\text{yd}^2\text{h}}$ 0.042	$\frac{\text{g}}{\text{m}^2\text{h}}$ 0.59	$\frac{\text{oz}}{\text{yd}^2\text{h}}$ 0.017

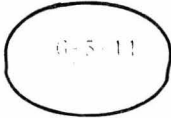


$$K = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/in}}$$

$$\lambda = \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}$$

CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL POLIESTIRENO

Manual para la Sección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos



Por sus cualidades este material se recomienda para aislar bajas temperaturas en sistemas criogénicos y de refrigeración.

~~X~~ Espuma de poliuretano.

El poliuretano expandido al igual que la espuma de poliestireno es un material de estructura celular cerrada dándole un factor de conductividad térmica bajo y una gran resistencia a la penetración de agua y de vapor de agua, es resistente a la mayoría de los solventes, de excelentes propiedades mecánicas, resistente a la flama, no atrae roedores o insectos y no se pudre.

Se surte en placas y preformados.

PROPIEDADES FISICAS:

DENSIDAD	22-32 Kg/m <sup>3</sup>	(1.4-2.0 lb/ft <sup>3</sup> )
Conductividad Térmica:	0.013-0.017	K cal-m/hr M <sup>2</sup> °C
21.1°C (70°F)		
Temperatura media	(0.11 - 0.14	BTU-in/hr ft <sup>2</sup> °F)
Resistencia a la compresión:	1.41-2.11 Kg/ cm <sup>2</sup>	(20-50 lb/in <sup>2</sup> )
Permeabilidad al vapor:	Menos de 0.28 g <sub>H<sub>2</sub>O</sub> /hr mm Hg/cm	( Menos de 4.0 Perm in)
Temperatura máxima de aplicación:	116°C (240°F)	
Temperatura mínima:	Sin límite.	

# SELECCION DEL MATERIAL AISLANTE Y DETERMINACION DE SU ESPESOR

4

## SELECCION DEL AISLANTE ADECUADO PARA ALTAS TEMPERATURAS

Como ya hemos visto, cada material aislante tiene sus propiedades y características propias que deben tomarse en consideración al hacer la selección de un producto. La selección más adecuada es aquella que satisface las demandas para obtener el material más eficiente y al más bajo costo.

Los pasos que deben seguirse al efectuar la selección de un aislante son determinar:

- a) Temperatura de operación de la tubería y/o equipo.
- b) Límite mínimo y máximo de temperaturas que puede soportar el aislamiento.
- c) Máxima temperatura tolerable en la superficie del aislamiento.
- d) Costo de la pérdida de calor.

- e) Facilidad de colocación y de almacenamiento
- f) Conductividad térmica, emisividad y reflectividad del material aislante.
- g) Incombustibilidad.
- h) Durabilidad del material.
- i) Adaptabilidad a la superficie a donde va a aplicarse.
- j) Capacidad de carga, de soportar vibraciones, de resistir la abrasión y los esfuerzos mecánicos.
- k) Resistencia a las contracciones y dilataciones de tuberías y/o equipos debidas a cambios bruscos de temperatura.
- l) Comportamiento del aislamiento cuando está expuesto a la humedad ó ser mojado.
- m) Rigidez ó flexibilidad.

Por último, hay otras consideraciones especiales para seleccionar un aislamiento, como son el tomar en cuenta si éstos van a estar en lugares donde los procesos químicos sean muy especializados o sistemas subterráneos de distribución que requieren que un Ingeniero estudie las propiedades químicas de los materiales aislantes que se le ofrecen, debido a las posibilidades de corrosión o la susceptibilidad a ella, la posibilidad de autoignición ya sea en el material mismo o en presencia de otros productos químicos, a la acción galvanica, etc.

## SELECCION DEL AISLANTE ADECUADO PARA BAJAS TEMPERATURAS.

Un buen material aislante para bajas temperaturas, debe reunir las siguientes características y propiedades:

- a) Alta eficiencia térmica.
- b) Debe tener estabilidad dimensional (no debe alargarse, contraerse o torcerse con los cambios de temperatura).
- c) Debe ser incombustible o por lo menos retardador del fuego.
- d) No debe favorecer a la corrosión, descomponerse ni desarrollar moho.
- e) Debe tener baja capilaridad y no debe deteriorarse con la humedad.
- f) Poco peso (baja densidad)
- g) Debe ser inodoro seco ó mojado.
- h) Debe tener resistencia estructural adecuada.
- i) Debe tener una superficie tal que, facilite la instalación de un acabado exterior.
- j) No debe desprender emanaciones toxicas.
- k) Debe apearse a las normas ASTM

Es importante hacer notar el hecho de que un mismo incremento de temperatura, el espesor del aislamiento necesario para una instalación fría será mucho mayor que el usado para una instalación caliente, esto



se debe a dos factores importantes:

- a) La necesidad de mantener una temperatura mayor - que la de condensación de la humedad del aire en la superficie del tubo aislante y en la barrera de vapor que se esté usando.
- b) El hecho de que extraer calor es mucho mas costo\_ so que producirlo (es siete ú ocho veces más barato producir una kcal en una termoeléctrica que sacar una kcal de un espacio refrigerado).

Una vez seleccionando el aislamiento se procederá a escoger el tipo de recubrimiento adecuado para el tipo de trabajo al que va a estar sometido, este va a depender básicamente de los siguientes factores.

1) Localización

- a) Bajo cubierta
- b) A la intemperie

2) Esfuerzo mecánico

- a) Sometido a esfuerzos mecánicos
- b) No sometido a esfuerzos mecánicos.

3) Medio ambiente

- a) Normal
- b) Salino
- c) Básico
- d) Acido



ACABADOS RECOMENDADOS PARA TUBERIAS Y EQUIPOS AISLADOS-  
SEGUN SU LOCALIZACION, ESFUERZO MECANICO Y MEDIO AMBIEN  
TE.

1) Acabados para tuberías y equipos bajo cubierta,  
sin esfuerzos mecánicos y con medio ambiente neutro en-  
donde no importa la apariencia.

En este caso puede constituir el acabado fi-  
nal una cubierta de manta ó loneta, ( con la que algu-  
nospreformados para tuberías vienen provistos de fábri-  
ca), adheridas en sus juntas o bién, recubiertas total-  
mente con bentonita o engrudo de almidón ordinario que  
se pueden aplicar con brocha. La bentonita ó engrudo en-  
durece y tapa los poros de las cubiertas de manta ó lo-  
neta. En la cubierta así preparada, se puede aplicar si  
se desea una capa de pintura de aceite del color prefe-  
rido ó de identificación.

2) Acabados para tuberías y equipos bajo cubierta o  
a la intemperie, con esfuerzos mecánicos y ambiente neu-  
tro, en donde si interesa la apariencia.

En este caso, se recomienda usar chaquetas de  
lámina de aluminio que puede ser liso calibre No. 26 ó  
corrugado calibre No. 32 ó bien, de lámina galvanizada-  
calibre No. 30. Tanto las juntas transversales como lon-  
gitudinales deberán translaparse cuando menos cinco cen

tímetros. Estas juntas en caso de instalaciones expuestas a goteos, deben sellarse con un material impermeable. Estas chaquetas se pueden fijar con pijas de aluminio, remaches POP o cinturones de fleje.

3) Acabados de tuberías y equipos bajo cubierta ó a la intemperie con esfuerzos mecánicos y con ambiente corrosivo.

En muchas ocasiones los equipos y tuberías aisladas en la industria química se encuentran sometidos a ambientes corrosivos. Los productos que normalmente se encuentran en la industria haciendo el medio ambiente son:

Acidos:

Acético al 5%, Acético al 50%, Acético Glacial, Crómico al 5%, Crómico al 10%, Crómico al 50%, Cítrico al 25%, Clorhídrico al 5%, Clorhídrico al 10%, Clorhídrico al 20%, Clorhídrico al 35%, Láctico al 5%, Láctico al 85%, Nítrico al 5%, Nítrico al 40%, Fosfórico al 5%, Fosfórico al 85%, Sulfúrico al 5%, Sulfúrico al 25%, Sulfúrico al 50%, Sulfúrico al 80%, Tartárico al 10%.

Bases:

Hidróxido de amonio al 10%, Hidróxido de amonio al 28%, Hidróxido de calcio al 10%, Hidróxido de sodio.

Sales (saturadas):

Sulfato de amonio, Tartrato de amonio, Sulfato de potasio, Carbonato de sodio, Hipoclorito de sodio 5%, Sulfato de sodio.

Solventes:

Acetona, alcohol butílico, Tetracloruro de carbono, Alcohol etílico, Alcohol isopropílico, Kerosina, Alcohol metílico, Metil etil cetona, Metil isobutil cetona, Percloroetileno, Solvente Stoddard, Toluol Tricloroetileno, Xilol.

Miscelaneos:

Clorox, solución de detergente, Dietilen triamina, Etilen diamina, Grasas y aceites, Formaldeido Líquido para equipo hidráulico, Aceites lubricantes, Solución de almidón, Ticresil fosfato, Agua.

A continuación se dá una guía para la selección de los acabados para los aislamientos térmicos -- que están sujetos a estos tipos de atmósferas.

En la tabla 4 -I, se dan una serie de parámetros de acuerdo al servicio que darán los ductos, tuberías o equipos; si a estos parámetros los llevamos a la tabla 4-2 nos darán el tipo o tipos de recubrimientos que se recomiendan ya sean asfálticos o poliméricos así como la forma en que se pueden aplicar y los esfuerzos que deben de llevar. Una vez obteniendo el tipo -

o tipos de material recomendados los llevamos a las ta  
blas 4 -3 que son las que nos van a marcar las restric  
ciones, (resistencias químicas), de cada uno de los --  
productos recomendados. Dándonos de ésta forma un mét  
do sencillo para seleccionar los materiales mas adecua  
dos para cualquier tipo de acabado del aislante térmi-  
co en donde existan ambientes corrosivos.

T A B L A      4 - 1

GUIA DE ACABADOS PARA AISLAMIENTOS

DUCTOS DE AIRE TIBIO		TIPO DE AISLAMIENTO		
Rectangular	Bajo Techo	Expuestos	Flexible J-K K-L	Rígido J-K K-L
		Ocultos		
	Intemperie	Expuestos	D-M	C-M
Circulares	Bajo techo	Expuestos	K	K
		Ocultos	K	K
	Intemperie	Expuestos	C-M	C-M

DUCTOS DE AIRE CON TEMPERATURA

DUAL				
Rectangular	Bajo techo	Expuestos	K	K
		Ocultos	K	K
	Intemperie	Expuestos	FG-M	F-6-M

TUBERIAS Y CONEXIONES

		Abajo	Frío	23°C	Caliente	
		0°C	23°C	omas	51°C	
Directo al aislamien- to barrera de vapor o al cemento	Bajo techo	Expuesto	F-G	K	K	K-J
		Oculto	F	L	K	K-L
	Intemperie	Expuesto	F-6	F-G	F-M	C-M

EQUIPOS Y OTROS

Directo al aislamien- to barrera de vapor o al cemento	}	Bajo techo	F	F	F-V-M	D-J-K
		Intemperie	F-G	F-6	F=6-M	CM
Metal desple- gado o Malla de ga- llinero	}	Bajo techo				D
		Intemperie				C

T A B L A 4 - 2

PARAMETROS	NOMBRE (o equivalentes)	TEMPERATURA DE SERVICIO °C	PERMEANCIA Perms	COLOR	APLICACION			
					lana, aspersión brocha	tipo de membrana de refuerzo	tipo de solvente	
A S F A L T I C O S								
C	HI-Mastic 9007	-19° a 90°	3.00	Negro	LL.A	Glass Fab	Agua	
D	HI-Mastic 9007	-17° a 90°	3.00	Negro	LL.A	Lona	Agua	
F	CI-Mastic 6025	-28° a 93°	0.00	Negro	LL.A	Glass Fab	Solvente	
	CI-Mastic 6026							
G	CI-Mastic 6032	-28° a 80°	0.00	Aluminio	LL.A	Glass Fab	Solvente	
	Aluminio 6042							
P C L I M E R I C O S								
J	Lactone 3070	-45° a 82°	3.00	Crema	A.B.	Lag-Fab	Agua	
K	Sealfas 2036	-28° a 82°	0.90	Crema	A.B.	Lona	Agua	
L	Lagfas 8142W	-43° a 82°	3.00	Crema	A.B.	Lona	Agua	
M	Climastica 3099	-18° a 82°	0.50	Blanco	LL.A.	Glass Fab	Agua	
Q	W.I. Coa - ting 3076	-28° a 82°	3.00	Blanco	A.B.			

G U I A D E A C A B A D O S

T A B L A 4-5

TABLEA DE RESISTENCIAS QUIMICAS

ACIDOS	Emulsiones Asfálticas		Recubrimien tos base epó xica		Barrera de vapor base asfáltica.		Mastics resis-- tentes- al fuego		Recubri mientos viníli- cos.		Mastic monolar	
	Frio	Calor	Frio	Calor	Frio	Calor	Frio	Calor	F.	C.	F.	C.
Acético al 5%	G	F	E	E	E	N	G	F	F	N	F	N
Acético al 50%	F	F	E	-	G	N	G	F	F	G	N	N
Acético Glacial	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Crómico al 5%	N	N	F	-	F	N	F	N	E	G	E	G
Crómico al 10%	G	F	F	N	G	F	G	F	-	-	E	G
Crómico al 50%	N	N	-	-	N	N	N	N	N	N	F	N
Cítrico al 25%	E	E	E	E	E	G	E	G	E	E	G	G
Clorhídrico al 5%G	N	N	E	E	E	N	G	G	E	G	E	F
Clorhídrico al 10%F	N	N	E	E	F	N	F	N	G	F	E	N
Clorhídrico al 20%F	N	N	E	E	F	N	F	N	G	F	E	N
Clorhídrico al 55%F	N	N	E	E	F	N	N	N	G	N	G	N
Láctico al 5%	E	F	E	E	E	G	E	E	G	N	E	G
Láctico al 85%	E	G	E	E	E	-	E	N	E	G	G	F
Nítrico al 5%	E	N	F	N	E	N	G	F	N	N	E	F
Nítrico al 40%	F	N	N	-	E	N	F	N	G	F	G	N
Fosfórico al 5%	E	E	-	-	E	G	E	E	E	G	E	E
Fosfórico al 85%	E	E	E	E	E	E	E	G	N	E	E	E
Sulfúrico al 5%	E	E	E	E	E	F	E	E	G	N	E	E
Sulfúrico al 25%	E	E	E	E	E	E	F	E	G	G	E	E
Sulfúrico al 50%	E	E	E	N	E	N	E	N	E	G	E	G
Sulfúrico al 80%	N	N	N	N	N	N	N	N	-	-	E	G
Tartárico al 10%	E	E	-	-	E	G	E	E	E	E	E	E



G U I A D E A C A B A D O S

TABLA 45

TABLA DE RESISTENCIAS QUIMICAS

SOLVENTES	Emulsiones Asfálticas		Recubrimientos base epóxica		Barrera de vapor base asfáltica		Mastics resistentes al fuego		Recubrimientos vinílicos.		Mastic Monolár	
	Frio	Calor	Frio	Calor	Frio	Calor	Frio	Calor	Frio	Calor	F	C
Merosina	N	N	E	-	N	N	N	N	E	G	N	N
Alcohol Metílico	E	E	E	E	E	E	E	E	E	G	E	B
Metil Etil Cetona	N	N	G	F	N	N	N	N	N	N	N	N
Metil Isobutil Cetona	N	N	G	F	N	N	N	N	N	N	N	N
Percloroetileno	N	N	E	F	N	N	N	N	N	N	N	N
Solvente Stoddard	N	N	E	-	N	N	N	N	E	G	F	N
Toluol	N	N	E	-	N	N	N	N	N	N	N	N
Tricloroetileno	N	N	E	F	N	N	N	N	N	-	N	N
Xilol	N	N	E	-	N	N	N	N	N	N	N	N
MISCELANEOS												
Clorox	-	-	E	F	-	-	-	-	-	-	E	G
Solución de Detergente	-	-	e	f	-	-	-	-	-	-	E	G
Dietilen Triamina	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
Etilen Diamina	-	-	N	N	-	-	-	-	-	-	-	-
Gases y Aceites	N	N	E	E	N	N	N	N	E	G	G	F
Formaldeído	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	N
Líquido para equipo hidráulico	-	-	E	E	-	-	-	-	-	-	G	F

EJEMPLOS  
DE  
APLICACION

Es necesario aislar una tubería de 152 mm (6") de diámetro que lleva vapor a 200°C (392°F), de la casa de máquinas al sistema de rehervidores de un sistema de torres de concentración de ácido nítrico, con una longitud total 150 m (492.13ft). el ambiente tiene ácido nítrico al 05%. Si el sistema trabaja 24 hrs. diarias durante 300 días al año y el combustible usado en la caldera genera 10,033.39 Kcal/lt (150,700 BTU/gal) y la caldera trabaja con una eficiencia del 81%. El litro de combustible cuesta \$ 0.53/lt. Si la temperatura ambiente media es de 21°C (70°F).

¿ Qué material se recomienda y en que espesor?

Alternativas:

a) Preformados de tierra Diatomacea y Asbesto.

De la tabla (3-1) de este manual, se determina dada la temperatura y el diámetro de la tubería, el espesor recomendado para el preformado; para este caso 38 mm. (1 1/2").

De la gráfica (3-1) de este manual, se determina la conductividad térmica a la temperatura media de trabajo. En este caso:

$$t_m = \frac{200^{\circ}\text{C} + 21^{\circ}\text{C}}{2} = 110.5^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto la conductividad térmica es:

$$\lambda = 0.047 \text{ Kcal/hs m}^2\text{°C/m} \quad k = \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2\text{°F/in}}$$

Con estos datos y empleando la ecuación para transferencia de calor en superficies cilíndricas (2-23) se determina la cantidad de calor que se pierde en la superficie aislada en cada una de las alternativas.

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{K} \left( \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi} \right) + \frac{1}{f}} (t_1 - t_2)$$

Para este caso:

$$\begin{array}{llll} t_1 = 200^\circ\text{C} & t_1 - t_2 = 179^\circ\text{C} & t_1 = 392^\circ\text{F} & t_1 - t_2 = 322^\circ\text{F} \\ t_2 = 21^\circ\text{C} & & t_2 = 70^\circ\text{F} & \end{array}$$

$$\lambda_m = 0.047 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2\text{°C/m}} \quad \frac{1}{\lambda_m} = 21.2766 \frac{\text{hs m}^2\text{°C}}{\text{Kcal m}}$$

$$* k_m = \left( 0.385 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{°F/in}} \right) \left( \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right) = 0.032 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{°F/ft}}$$

\* Para homogenizar unidades es necesario convertir a

$$\frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{°F/ft}}$$

$$\frac{1}{\text{km}} = 31.25 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \text{ } r} = 0.059 \text{ (de la tabla No. A-T-5 del apéndice).}$$

$$h_a = 3.2 \frac{\text{BTU}}{\text{hs ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \text{ (de la gráfica No. A-T-2 del apéndice).}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{h_a (D_i)} = \frac{1}{3.2 \times 6} = \frac{1}{19.2} \times \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{1.6 \frac{\text{BTU}}{\text{hs ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/ft}}} = 0.625 \frac{\text{hr ft } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{2.4 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}} = 0.416 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{.Kcal m}}$$

Por lo tanto

$$Q = \frac{150 \text{ m} \times 179 \text{ } ^\circ\text{C}}{21.2766 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \times 0.059 + 0.416 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}}$$

$$Q = \frac{26850}{1.6713} = 16,065.15 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs}}$$

$$Q = \frac{492.13 \text{ ft} \times 322 \text{ } ^\circ\text{F}}{31.25 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}} \times 0.059 + 0.625 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}}$$

$$Q = \frac{158,465.86}{2.468} = 64,188.68 \text{ BTU/hr}$$

b) Preformados de Fibra de Vidro

De la tabla 3-2, el espesor recomendado es: 51 mm. (2")

De la grafica <sup>3 A</sup> 4-3, la conductividad termica es:

$$\lambda_m = 0.03 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C/m}} \quad K_m = 0.248 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/in}}$$

$$\frac{1}{\lambda_m} = 33.33 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{0.248 \frac{\text{BTU in}}{\text{hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}}} = 48.38 \frac{\text{hs ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

$$\frac{1}{f} = 0.625 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

$$\frac{1}{f} = 0.416 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \quad \ln \frac{r_2}{r_1}$$

De la tabla A-T-5, del apendice  $\frac{r_1}{2r} = 0.075$

$$Q = \frac{150 \text{ m} \times 179 \text{ }^\circ\text{C}}{33.33 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \times 0.075 + 0.416 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}}$$

$$Q = \frac{26,850}{2.915} = 9,208.60 \text{ Kcal/hs}$$

$$Q = \frac{492.13 \text{ ft} \times 322 \text{ }^\circ\text{F}}{48.38 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}} \times 0.075 + 0.625 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}}$$

$$Q = \frac{158,465.86}{4.25} = 37,255.40 \text{ BTU/hr}$$

c) Preformados de Silicato de Calcio

De la tabla 3-12, el espesor recomendado es: 51 mm. (2")

De la grafica 3-10 la conductividad termica es:

$$\lambda_m = 0.041 \frac{\text{Kcal m}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad K_m = 0.33 \frac{\text{BTU in}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$\frac{1}{\lambda_m} = 24.39 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}$$

$$\frac{1}{\lambda'_m} = 36.36 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

$$\frac{1}{f} = 0.625 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}$$

$$\frac{1}{f} = 0.416 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}$$

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi} = 0.075$$

$$Q = \frac{150 \text{ m} \times 179 \text{ } ^\circ\text{C}}{24.39 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \times 0.075 + 0.416 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}}$$

$$Q = \frac{26,850}{2.24} = 11,958.58 \text{ Kcal/hs}$$

$$Q = \frac{492.13 \text{ ft} \times 322 \text{ } ^\circ\text{F}}{36.36 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}} \times 0.075 + 0.625 \frac{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU ft}}}$$

$$Q = \frac{158,465.86}{3.35} = 47,275.00 \text{ BTU/hr}$$

ALTERNATIVAS	PERDIDAS DE CALOR Q			
	Kcal/hs	BTU/hr	Kcal/año	BTU/año
a)	16,065.15	64,188.68	115,668,000	462,158,490
b)	9,208.60	37,255.40	66,301,920	268,238,880
c)	11,958.58	47,275.00	86,101.776	340,380,000

Eficiencias de trabajo del aislamiento:

De la tabla A-T-6 del Apendice teniendo el diámetro y temperatura de superficie del tubo sin aislar tenemos - que para esta temperatura hay una perdida de calor de:

$$Q = 2,728 \text{ BTU/hr ft}$$

Por lo tanto a lo largo de la tuberia se tiene una perdida de calor de:

$$Q_{492.13 \text{ ft}} = 1,342,530.60 \text{ BTU/hr}$$

Por lo tanto:

$$Q_{150 \text{ m}} = 338,317.71 \text{ Kcal/hs}$$

Las eficiencias de trabajo serán:

$$a) E = \frac{338,317.71 \text{ Kcal/hs} - 16,065.15 \text{ Kcal/hs}}{338,317.71 \text{ Kcal/hs}} \times 100$$

$$E = 95.25 \%$$

$$E = \frac{338,317.71 \text{ Kcal/hs} - 9,208.60 \text{ Kcal/hs}}{338,317.71 \text{ Kcal/hs}} \times 100$$



$$E = 97.27 \%$$

$$c) E = \frac{338,317.71 \text{ Kcal/hs} - 11,958.58 \text{ Kcal/hs}}{338,317.71 \text{ Kcal/hs}} \times 100$$

$$E = 96.46 \%$$

Ahora se calcula la cantidad de calor que necesita generar la caldera para producir el calor que se está perdiendo si ésta trabaja al 81 % de eficiencia:

$$a) \frac{16,065.15 \text{ Kcal/hs}}{0.81} = 19,833.51 \text{ Kcal/hs}$$

$$b) \frac{9,208.60 \text{ Kcal/hs}}{0.81} = 11,368.64 \text{ Kcal/hs}$$

$$c) \frac{11,958.58 \text{ Kcal/hs}}{0.81} = 14,763.67 \text{ Kcal/hs}$$

Por lo tanto el costo por hora será:

$$a) 19,833.51 \text{ Kcal/hs} \times \frac{\$ 0.53 / \text{lt}}{10,033.39 \text{ Kcal/lt}} = \$ 1.04 / \text{hs}$$

$$b) 11,368.64 \text{ Kcal/hs} \times \frac{\$ 0.53 / \text{lt}}{10,033.39 \text{ Kcal/lt}} = \$ 0.60 / \text{hs}$$

$$c) 14,958.58 \text{ Kcal/hs} \times \frac{\$ 0.53 / \text{lt}}{10,033.39 \text{ Kcal/lt}} = \$ 0.79 / \text{hs}$$

En un año será:

- a) 7,200 hs/año x \$1.04 /hs = \$ 7,488.00 /año
- b) 7,200 hs/año x \$0.60 /hs = \$ 4,320.00 /año
- c) 7,200 hs/año x \$0.79 /hs = \$ 5,688.00 /año

Costo del material instalado por tramos de --  
preformados de 0.91 m. (3').

La cantidad de preformados necesarios será:

$$\frac{150 \text{ m}}{0.91/\text{m}/\text{tramo}} = 164.83$$

Esta cantidad es la cantidad exacta de tramos de prefor-  
mados que se necesitarán, y como no este número es frac-  
cionado se ira siempre al proximo superior.

- a) 165 tramos x \$ 129.70/tramo = \$ 21,400.50
- b) 165 tramos x \$ 176.80/tramo = \$ 29,172.00
- c) 165 tramos x \$ 286.00/tramo = \$ 47,190.00

Ya con los datos obtenidos de la perdida de -  
calor, eficiencias, costos de material y condiciones de  
trabajo se puede detrmnar el aislamiento que se debe -  
usar.

Por el costo de las perdidas de calor y del -  
material en este caso se seleccionarian los preformados  
de Tierra Diatomacea y Asbesto.

Una vez determinado el tipo de material a - -  
usarse debe seleccionarse el tipo de terminado para - -

protegerlo. De la sección correspondiente (acabados -- recomendados inciso 3) a acabados sometidos a intemperie con esfuerzos mecánicos y atmosfera corrosiva tenemos:

Para una atmosfera con 5 % de ácido nítrico en la tabla 4-1 en la sección correspondiente a tuberia y conexiones calientes mayores de 50 °F el tipo de parámetro es F - M. Con este dato en la tabla 4-2 determinamos cual es el material que corresponde a los parámetros encontrados en la tabla 4-1, en este caso: CI-Mastic -- y el Climastic respectivamente.

Ahora en la tabla de resistencias químicas, -- para ácido nítrico al 5 % tenemos:

El CI-Mastic 60-25 para calor si se recomienda

El Climastic 30-99 para calor no se recomienda

Por lo tanto se usará CI-Mastic 60-25 aplicado con llana y con membrana de fibra de vidrio Glass-Fab como refuerzo.

Es necesario aislar un reactor de 2.20 m. de diámetro y 4.80 de largo que trabaja a una temperatura de 220°C. Si al temperatura ambiente media es de - 26°C y se trabaja en una atmosfera neutra.

¿Que material se recomienda y en que espesor?

Considerando que el equipo es cilindrico se elige un material fibroso para facilitar su colocación. Además se recomienda un acabado duro de cemento monolítico que se coloca en dos capas de 6.4 mm. (1/4") - cada una. La primera capa debe ser rugosa y cuando ésta esté completamente seca se coloca la segunda capa que se pule con llana.

#### ALTERNATIVAS.

a) Colchonetas armadas de fibra de vidrio:

De la tabla 3-6, el espesor recomendado para este caso es: 51 mm. (2")

De la grafica 3-6, la conductividad térmica a la temperatura media es:

$$t_m = \frac{220^\circ + 26^\circ}{2} = 123^\circ\text{C}$$

$$\lambda_m \text{ 96 Kg/m}^3 = 0.032 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C/m}}$$

$$\lambda_m \text{ 48 Kg/m}^3 = 0.034 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C/m}}$$

De la grafica 3-2, la conductividad térmica del cemen-

to monolítico es:

$$\lambda_m = 0.0608 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}$$

El area que se calcula para determinar la cantidad de calor que se pierde es la del equipo más el espesor del aislamiento, en este caso:

Espesor recomendado de las colchonetas	0.051 m
+ Espesor del cemento seco	<u>0.011 m</u>
Espesor total del aislamiento	0.062 m

$$\text{Diámetro} = 2.20 + (0.062) 2 = 2.324 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 4.80 + (0.062) 2 = 4.924 \text{ m}$$

$$\text{Area externa del cuerpo: } A_1 = (2.324)(4.924) = 35.95 \text{ m}^2$$

Area externa de las - -

$$\text{tapas: } A_2 = \left( \frac{(2.324)^2}{4} \right) 2 = \frac{8.48 \text{ m}^2}{44.43 \text{ m}^2}$$

En este caso la perdida de calor Q se puede calcular -- considerando como una superficie plana (ec-2-10)

$$Q = \frac{(t_1 - t_2) A}{\frac{L_a}{K_m} + \frac{L_c}{K_m} + \frac{1}{h_a}}$$

Para este caso:

$$\begin{aligned} t_1 &= 220^\circ\text{C} \\ t_2 &= 26^\circ\text{C} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad t_1 - t_2 = 194^\circ\text{C}$$

$$A = 44.43 \text{ m}^2 \quad L_a = 0.051 \text{ m} \quad L_c = 0.011 \text{ m.}$$

$$\frac{1}{\lambda_m} 96 \text{ Kg/m}^3 = 31.25 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \Rightarrow \frac{L_a}{\lambda_m} = 1.59 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$\frac{1}{\lambda_m} 46 \text{ Kg/m}^3 = 29.40 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \Rightarrow \frac{L_a}{\lambda_m} = 1.49 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$\frac{1}{\lambda_m \text{monolítico}} = 16.43 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \Rightarrow \frac{L}{\lambda_m} = 0.18 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

De la tabla A-2 del apendice

$$h_a = 2.05 \frac{\text{B T U}}{\text{hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}} = 10.00 \text{ Kcal/hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\frac{1}{h_a} = 0.1 \text{ hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C/Kcal}$$

$$Q_{96 \text{ Kg/m}^3} = \frac{(44.43 \text{ m}^2)(194^\circ\text{C})}{(1.59 + 0.18 + 0.1) \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}}$$

$$Q_{96 \text{ Kg/m}^3} = \frac{8,619.42 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{1.87 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}}$$

$$Q_{96 \text{ Kg/m}^3} = 4,609.31 \text{ Kcal/hs}$$

$$Q_{46 \text{ Kg/m}^3} = \frac{(44.43 \text{ m}^2)(194^\circ\text{C})}{(1.49 + 0.18 + 0.1) \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}}$$

$$Q_{46 \text{ Kg/m}^3} = \frac{8,619.42 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{1.77 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}}$$

$$Q_{46 \text{ Kg/m}^3} = 4,869.16 \text{ Kcal/hs}$$

b) Placas de Fibra de Vidrio semirigida con una densidad relativa de 32 Kg/m<sup>3</sup>.

De la tabla 3-9, el espesor recomendado es: 0.0762 m. (3").

De la grafica 3-8, la conductividad térmica es:

$$\lambda_m = 0.044 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}$$

Area:

Espesor recomendado para las placas:	0.076 m
+ Espesor del cemento aislante seco:	<u>0.011 m</u>
Espesor total del aislamiento	0.087 m

$$\text{Diámetro} = 2.20 + (0.087)2 = 2.374 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 4.80 + (0.087)2 = 4.974 \text{ m}$$

$$\text{Area externa del cuerpo: } A_1 = (2.374)(4.974) = 37.09 \text{ m}^2$$

Area externa de las ta-

$$\text{pas; } A_2 = ( (2.374)^2 / 4 ) (2) = \frac{8.85 \text{ m}^2}{}$$

$$\text{Area externa del equipo: } 45.94 \text{ m}^2$$

$$\frac{1}{\lambda_m} = 20.40 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \qquad \frac{L_a}{\lambda_m} = 1.555 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$\frac{1}{\lambda_m} = 16.43 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}} \qquad \frac{L_c}{\lambda_m} = 0.16 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$\frac{1}{h_a} = 0.1 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$Q = \frac{(45.94 \text{ m}^2)(194 \text{ } ^\circ\text{C})}{(1.555 + 0.16 + 0.1) \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}}$$

$$Q = 1.815 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$Q = 4,910.39 \text{ Kcal/hs}$$

c) Placas de Lana Mineral:

$$\text{Conductividad térmica:} = 0.019 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/m}}$$

$$\text{Espesor recomendado:} \quad 0.0762 \text{ (3")}$$

$$\text{Area de transmisión de calor:} \quad 45.94 \text{ m}^2$$

$$\frac{1}{\lambda_m} = 52.63 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}} \quad \frac{L_a}{\lambda_m} = 4.01 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$\frac{1}{h_a} = 0.1 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$\frac{L_a}{\lambda_m \text{ monolítico}} = 0.16 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$Q = \frac{(45.94 \text{ m}^2)(194 \text{ } ^\circ\text{C})}{(4.01 + 0.16 + 0.1) \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}}$$

$$Q = \frac{8,912.36 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{4.27 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}}$$

$$Q = 2,087.20 \text{ Kcal/hs}$$

ALTERNATIVAS	Q Kcal/hs	Q B T U/ hr
a) 96 Kg/m <sup>3</sup>	4,609.31	18,290.91
46 Kg/m <sup>3</sup>	4,869.16	19,322.06
b)	4,910.39	19,485.67
c)	2,087.20	8,282.53

Si el producir 10,000 Kcal/hs cuesta \$ 0.70  
yel sistema trabaja 3,600 hs al año. Tenemos que:



$$\begin{aligned}
 \text{a) } & (4,609.31 \text{ Kcal/hs}) \left( \frac{\$ 0.70}{10,000 \text{ Kcal}} \right) = \$ 0.32 / \text{hs} \\
 & (4,869.16 \text{ Kcal/hs}) \left( \frac{\$ 0.70}{10,000 \text{ Kcal}} \right) = \$ 0.34 / \text{hs} \\
 \text{b) } & (4,910.39 \text{ Kcal/hs}) \left( \frac{\$ 0.70}{10,000 \text{ Kcal}} \right) = \$ 0.34 / \text{hs} \\
 \text{c) } & (2,087.20 \text{ Kcal/hs}) \left( \frac{\$ 0.70}{10,000 \text{ Kcal}} \right) = \$ 0.14 / \text{hs}
 \end{aligned}$$

En un año de trabajo:

$$\begin{aligned}
 \text{a) } & (\$ 0.32 / \text{hs})(3,600 \text{ hs/año}) = \$ 1,152.00 \\
 & (\$ 0.34 / \text{hs})(3,600 \text{ hs/año}) = \$ 1,224.00 \\
 \text{b) } & (\$ 0.34 / \text{hs})(3,600 \text{ hs/año}) = \$ 1,224.00 \\
 \text{c) } & (\$ 0.14 / \text{hs})(3,600 \text{ hs/año}) = \$ 504.00
 \end{aligned}$$

Si el costo del material aislante instalado es:

$$\begin{aligned}
 \text{a) } & (44.43 \text{ m}^2)(\$ 176.00 / \text{m}^2) = \$ 7,819.68 \\
 & (44.43 \text{ m}^2)(\$ 133.00 / \text{m}^2) = \$ 5,909.19 \\
 \text{b) } & (45.94 \text{ m}^2)(\$ 115.55 / \text{m}^2) = \$ 5,308.36 \\
 \text{c) } & (45.94 \text{ m}^2)(\$ 189.60 / \text{m}^2) = \$ 8,710.22
 \end{aligned}$$

Como se puede ver facilmente, para este caso el material ausarse son placas de Fibra de Vidrio semi rigidas.

El terminado puede ser a base de una chaqueta de aluminio liso calibre 26 ó bien un recubrimiento de vase asfáltica con membrana de refuerzo aplicado con llana. Ya que en este caso el ambiente es neutro.

Es necesario aislar una tubería de 102 mm. (4") de diámetro que lleva salmuera a -10 °C del cuarto de máquinas al sistema de refrigeración con una longitud total de 50 m.. Si la humedad relativa del lugar es del 58 % y la temperatura media ambiente es de 33 °C.

¿ Qué material se recomienda y en que espesor?

ALTERNATIVAS.

a) Preformados de Fibra de Vidrio.

De la tabla 3-3, el espesor recomendado para este caso es: 38 mm (1/2").

De la grafica 3-4, la conductividad térmica a la temperatura media es:

$$t_m = \frac{-10 \text{ °C} + 33 \text{ °C}}{2} = 11.5 \text{ °C}$$

$$\lambda_m = 0.027 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs. m}^2 \text{ °C/m}}$$

Con la formula 2-24, calculamos la cantidad de calor que la linea va a ganar:

$$Q = \frac{l(t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_m} \frac{r_1}{2r} + \frac{1}{f}}$$

$$l = 50 \text{ m.}$$

$$t_1 = -10 \text{ °C}$$

$$t_2 = 33 \text{ °C}$$

$$t_1 - t_2 = -43 \text{ °C}$$

$$\frac{1}{\lambda_m} = 37.03 \frac{\text{hs m}^2 \text{ °C}}{\text{Kcal m}}$$

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 r} = 0.081$$

$$h_a = 1.5 \frac{B T U}{hr ft^2 \text{ } ^\circ F} = 7.32 \frac{Kcal}{hs m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$D = 0.178 \text{ m (7")}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{h_a D} = \frac{1}{(7.32 \frac{Kcal}{hs m^2 \text{ } ^\circ C})(0.178 \text{ m})} = 0.767 \frac{hs m^2 \text{ } ^\circ C}{Kcal m}$$

Por lo tanto:

$$Q = \frac{(50 \text{ m})(-43 \text{ } ^\circ C)}{(37.03 \frac{hs m^2 \text{ } ^\circ C}{Kcal m})(0.081) + 0.767 \frac{hs m^2 \text{ } ^\circ C}{Kcal m}}$$

$$Q = \frac{-2150 \text{ m } ^\circ C}{3.766 \frac{hs m^2 \text{ } ^\circ C}{Kcal m}}$$

$$Q = -570.83 \text{ Kcal/hs}$$

La temperatura de la pared será:

Calculando la ganancia de calor en un metro-lineal de tubería:

$$Q_{1m} = \frac{-570.83 \text{ Kcal/hs}}{50 \text{ m}} = -11.41 \text{ Kcal/hs m}$$

Ahora si multiplicamos la resistencia de la película por el calor que se pierde, nos da la diferencia de temperatura que hay entre la pared el aislamiento y la temperatura del ambiente.

$$(-11.41 \frac{Kcal}{hs m})(0.767 \frac{hs m^2 \text{ } ^\circ C}{Kcal m}) = -8.75 \text{ } ^\circ C$$

Por lo tanto la temperatura de superficie --  
del aislamiento será:

$$33 \text{ }^\circ\text{C} - 8.75 \text{ }^\circ\text{C} = 24.24 \text{ }^\circ\text{C}$$

Es necesario revisar si a esta temperatura -  
de superficie, el aislamiento no esta abajo del pun-  
to de condensación de la humedad del ambiente.

Del nomograma 2-1 con la temperatura media y  
la humedad relativa obtenemos directamente el punto -  
de rocío o de condensación de la humedad del ambiente.

Para este caso:

$$\text{Punto de rocío} = 23.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por lo tanto el espesor que se recomienda es  
suficiente para que no ocurran condensaciones en la -  
superficie del aislamiento.

b) Preformados de Poliestireno.

De la tabla 3-13, el espesor recomendado es: 51 mm. -  
(2")

De la grafica 3-11, la conductividad térmica es:

$$\lambda_m = 0.0235 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C/m}}$$

$$\frac{1}{\lambda_m} = 42.55 \frac{\text{hs m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}$$

$$t_1 - t_2 = -43 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$l = 50 \text{ m.}$$

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi} = 0.101$$

$$\frac{1}{f} = 0.672 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$$

$$Q = \frac{(50 \text{ m.}) (-43 \text{ } ^\circ\text{C})}{(42.55 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}})(0.101) + 0.672 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}}$$

$$Q = \frac{-2,150 \text{ m } ^\circ\text{C}}{4.969 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}}$$

$$Q = -432.63 \text{ Kcal/hs}$$

Y la temperatura de superficie será:

$$Q = \frac{-432.63 \frac{\text{Kcal}}{\text{hs}}}{50 \text{ m.}} = -8.65 \text{ Kcal /hs m}$$

Por lo tanto:

$$(-8.65 \text{ Kcal/hs m})(0.672 \frac{\text{hs m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal m}}) = -5.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_s = 33 \text{ } ^\circ\text{C} - 5.81 \text{ } ^\circ\text{C} = 27.19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como el punto de rocío es de 23.3 °C el espesor que se recomienda es suficiente.

Costos del material instalado:

Preformados de Fibra de Vidrio

con Pyro-Kure como barrera de

vapor: ( \$140.00/m)(50.00 m) = \$ 7,000.00

Preformados de Poliestireno -

con hoja de aluminio reforzada

con polietileno como barrera -

de vapor ( \$ 107.00/m)(50.00 m) = \$ 5,350.00

Con Pyro-Kure como barrera

de vapor ( \$ 116.55/m) (50.00 m) = \$ 5,827.50

Como se puede ver, en este caso el material seleccionado será el Poliestireno preformado con hojas de aluminio reforzadas con polietileno como barrera de vapor.

# ESPECIFICACIONES DE INSTALACION

5

## ESPECIFICACIONES DE INSTALACION

1) Para aislamientos que trabajan a altas temperaturas. En donde no se quiere perder calor:

a) Para tuberías:

a-1) Pasos preliminares:

1) El sistema de tuberías que va a ser aislado debe checarsé perfectamente en lo que se refiere a la instalación , y corregir, de ser necesario, cualquier anomalía. Debe checarsé que no falten de instalar codos, tees, válvulas, trampas de vapor, etc., y que no haya fugas en éstas o en las uniones de tuberías soldadas. Debe preverse además que quede suficiente espacio para colocar el aislamiento.

2) Se limpia la tubería. Según lo requiera su estado, deberá limpiarse con cepillo de alambre y estopa ó químicamente. El objeto es eliminar polvos, -

óxido, suciedad, etc.

Cuando la limpieza se haga mecánicamente, se recomienda usar guantes de lona y lentes. Cuando se haga químicamente, convendrá usar hombreras, mandil, botas y guantes de hule. En todos los casos deberá usarse casco protector.

3) Se aplica luego una mano de cromato de zinc, siguiendo en todo las instrucciones del fabricante para un mejor resultado.

4) Estando seco el cromato de zinc se procede a la colocación del aislamiento.

a-2) Colocación del aislamiento:

1) Preformados.- Una vez determinado el espesor y tipo de aislamiento (Cap. 2), de acuerdo a las temperaturas de trabajo y estando seco el cromato de zinc descrito en el inciso a-1-3) se procede a la colocación del aislamiento, siguiendo las siguientes recomendaciones:

a) En tuberías horizontales.- Se coloca el preformado con su junta longitudinal hacia abajo inclinada ligeramente, haciendo presión sobre el aislamiento que se está colocando en dirección del que ya está colocado, para que las juntas transversales, entre preformado y preformado, no queden abiertas de tal manera que haya continuidad en el aislamiento, teniendo cuidado que las juntas -

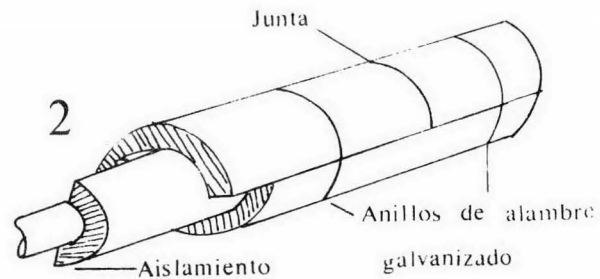
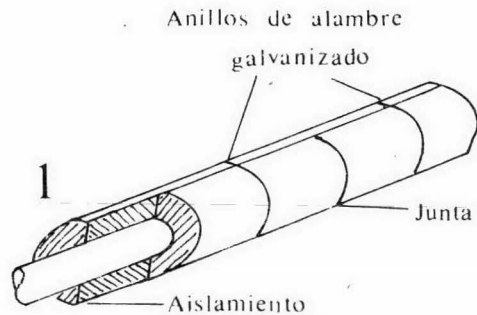


circunferenciales queden en zig-zag una respecto a la otra. Los preformados se fijan a la tubería con tres anillos de alambre galvanizado calibre 16 cuando se trata de pequeños y medianos diámetros y con fleje galvanizado de 13mm. para diámetros mayores, distanciados en ambos casos a 0.30 m. de centro a centro. Figuras 4-1 y 4-2.

b) En tuberías verticales.- Se siguen los mismos pasos ya descritos, excepto que deben proveerse soportes para el aislamiento. Figuras 4-3 y 4-4.

c) En tuberías con venas de vapor.- El diámetro usado del preformado corresponde al de un círculo imaginario que circunscriba la tubería principal y la vena de vapor de calentamiento, o bien, cuando la vena de calentamiento es grande se puede usar la mitad del preformado para el diámetro mayor y la mitad del preformado del diámetro menor cerrando los costados con placas del mismo espesor. Figuras 4-5 y 4-6. El procedimiento de instalación es el mismo que el descrito en los incisos a-2-1a) y a-2-1b).

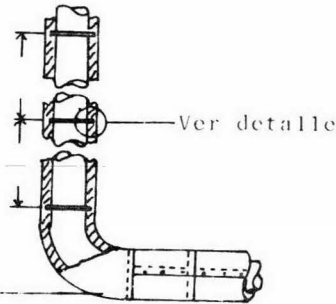
d) Juntas de expansión.- Deben instalarse a cada 3 ó 6 m. para temperaturas hasta de  $350^{\circ}\text{C}$  ( $662^{\circ}\text{F}$ ) y a cada 2 ó 4 m. para temperaturas hasta de  $700^{\circ}\text{C}$  -- ( $1,292^{\circ}\text{F}$ ). Generalmente el material aislante de la



Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-1y2

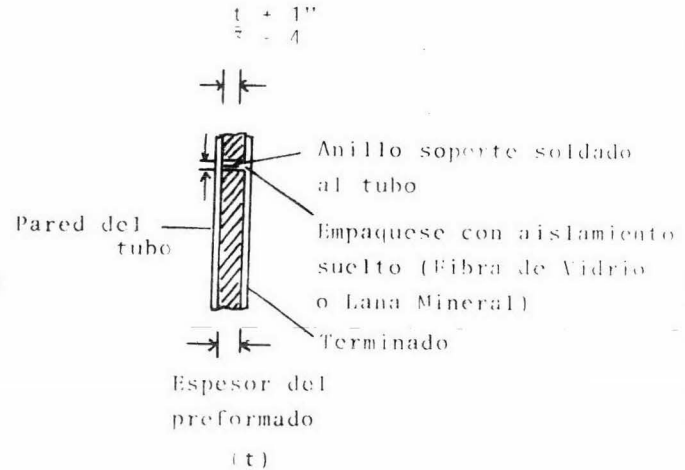
Poner anillos  
soportes cada  
3.65 m. (12')  
de C.A.C.



Mastique a  
prueba de intemperie

Cubierta metálica

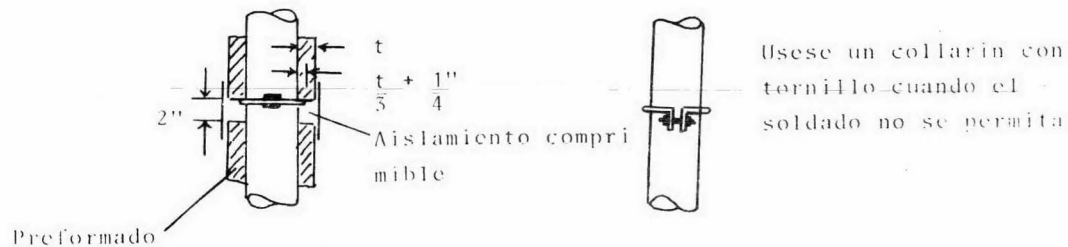
AISLAMIENTO EN TUBERIAS VERTICALES



**Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos**

F-5-3

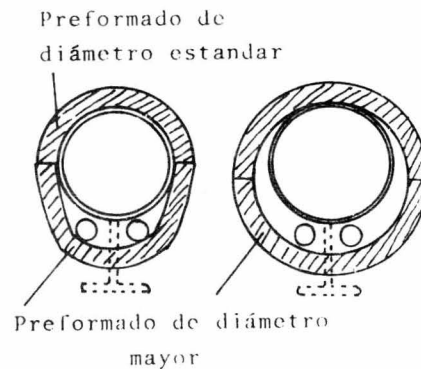
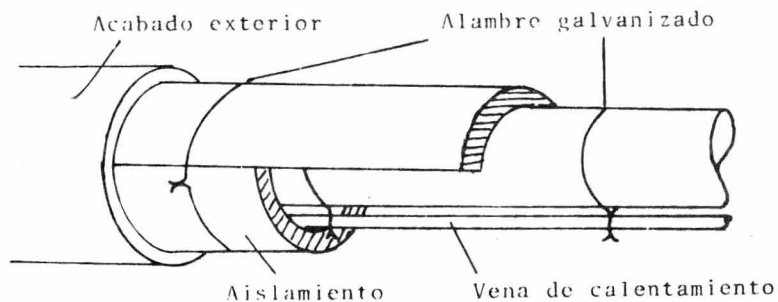
t = Espesor del aislamiento



AISLAMIENTO EN TUBERIAS VERTICALES

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

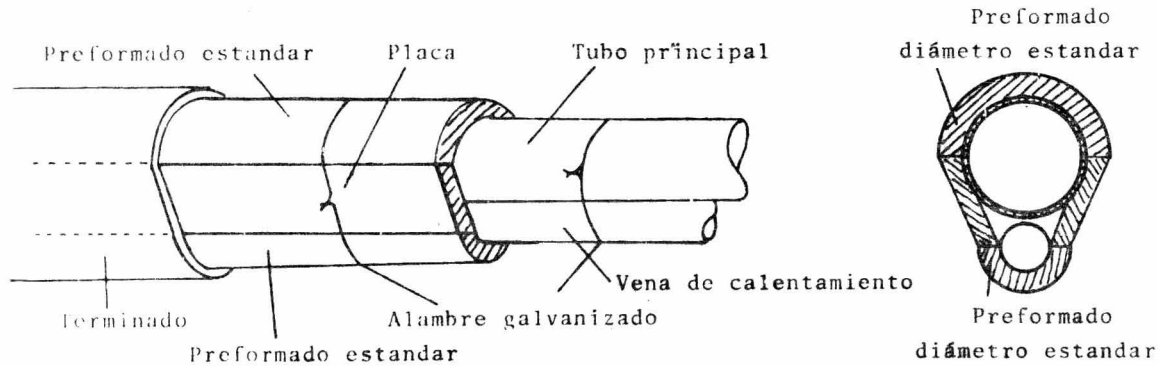
F 5 1



LÍNEAS CON VENAS DE CALENTAMIENTO

**Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos**

F-5-5



LÍNEAS CON VENA DE CALENTAMIENTO

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-6

tubería se interrumpe 5 cm. (2") y se rellena con un ma  
terial aislante flexible (generalmente fibra de vidrio  
blanca). En las tuberías verticales las juntas de expan  
sión deben coincidir con los anillos o soportes del ais-  
lamiento.

Las juntas de expansión deben ser protegidas según  
el acabado que se instale. Figuras 4-7 y 4-8.

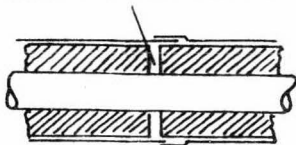
e) Soportes para tubería aislada.- Las abrazade-  
ras deben cubrirse con aislamiento en toda su longitud  
y en toda la tubería. En los lugares en donde los so-  
portes sean colgantes y que pasen a través del aislamien-  
to, deberán instalarse cubiertas metálicas para escurri-  
miento, empacadas con un material sellador que sea imper-  
meable. Figuras 4-9 y 4-10.

2) Colchonetas armadas.- Se colocan en la forma -  
descrita para el preformado, o sea, con sus juntas hacia  
abajo haciendo que los bordes metálicos y el aislamiento  
queden  
junteados a tope cosiendo o atando con alambre galvaniza-  
do calibre 16 las juntas longitudinales.

3) Debe hacerse presión sobre el aislamiento que  
se está colocando en dirección del que está ya colocado,  
cosiendo la junta transversal como se hizo con la junta  
longitudinal. Si se usan colchonetas armadas con metal

121

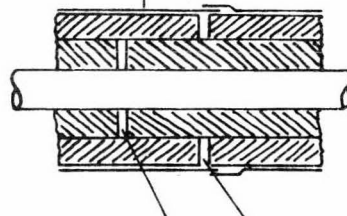
Empaques con Fibra de Vidrio o  
Lana Mineral suelta



La junta se abre cuando el  
tubo es calentado

CAPA SENCILLA DE AISLAMIENTO

Acabado



Empaques con Fibra de Vidrio o  
Lana Mineral suelta

CAPA MULTIPLE DE AISLAMIENTO

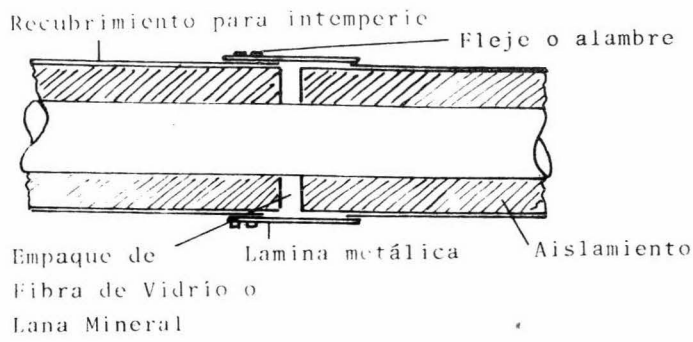
JUNTAS DE EXPANCIÓN

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-7

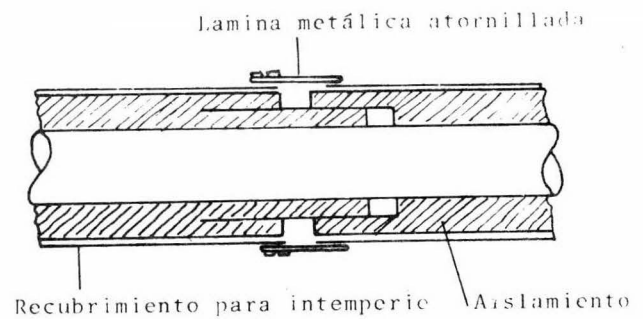


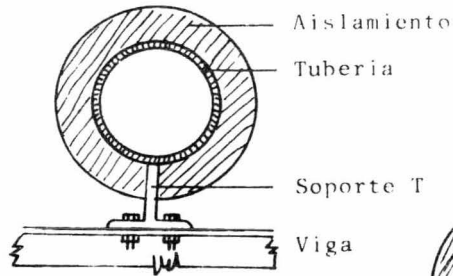
122



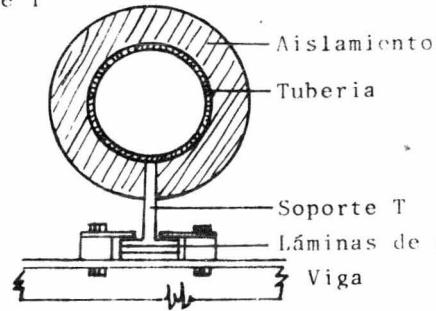
El espacio para expansión recomendado cuando esta fría la tubería es de 19 mm. (3/4").

JUNTAS DE EXPANSION

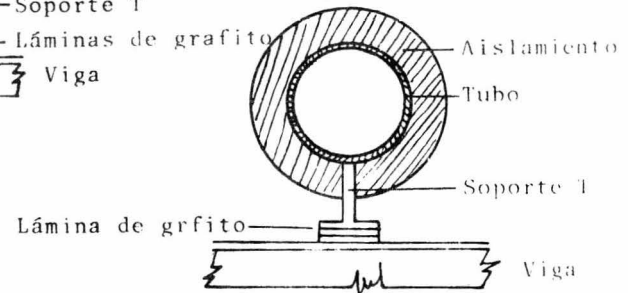




ANCLA



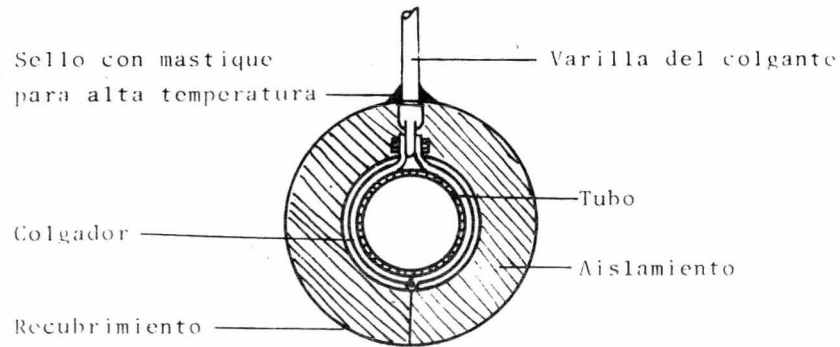
GUÍA



CORREDERA

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-9



COLGADOR PARA TUBO AISLADO

desplegado por una de sus caras, éste deberá ir hacia el lado exterior para poder aplicar los recubrimientos posteriormente.

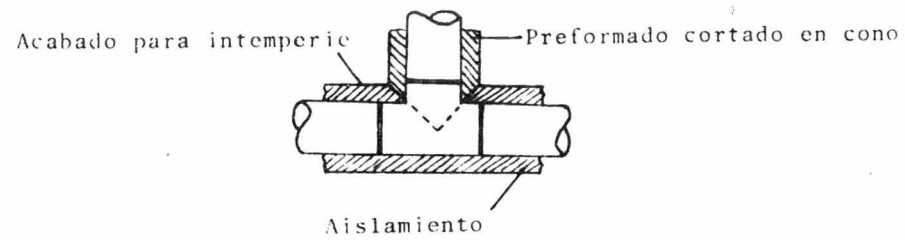
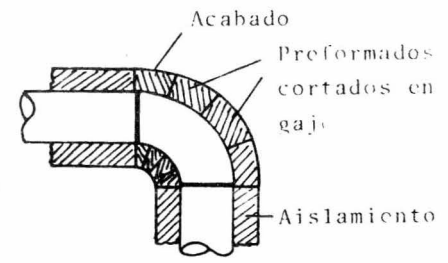
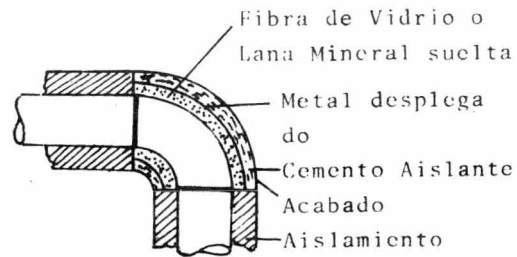
3) Aislamiento de accesorios (bridas, válvulas, codos, tees, etc.).- El aislamiento de todos estos accesorios ya sea instalando preformados o colchonetas armadas se realiza usando fibra de vidrio blanca o lana mineral atados con metal desplegado (dando la forma del accesorio) para ser cubierto con cemento aislante monolítico dándole el espesor del resto de la tubería. Figura 4-11. Otra alternativa es hacer una especie de caja para las bridas y válvulas con preformados cortados en forma adecuada. Para los codos pueden cortarse los preformados en gajos de manera que puedan adaptarse al codo. La selección del sistema empleado depende de las características de instalación y el tipo de terminados que se estén empleando. Figura 4-12.

A las terminales de los tubos preformados del aislamiento antes de llegar a un accesorio atornillado de be dársele una forma cónica que permita el acceso libre de las herramientas de mantenimiento para que los preformados no se maltraten.

b) Para equipos:

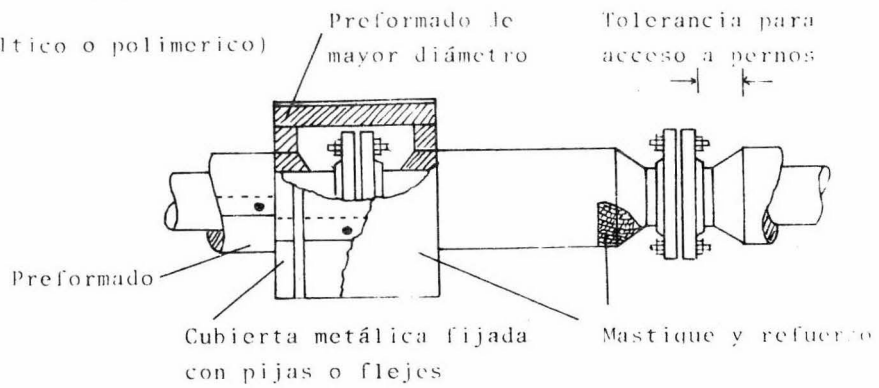
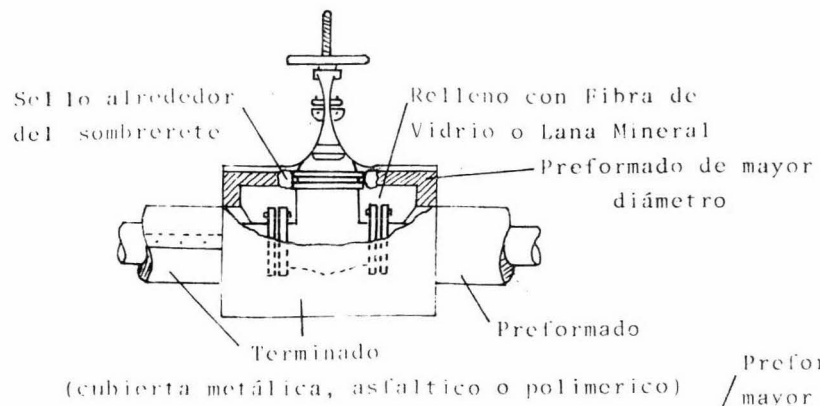
1) Pasos preliminares;

a) Debe verificarse que el equipo que se va a ais-



Manual para la Selección e Instalación de Aislamientos Térmicos

F-5-11



Manual para la Selección e Instalación de Aislamientos Térmicos

F-5-12

lar, esté totalmente instalado y debidamente probado, o sea que no haya fugas entre las soldaduras de unión, ni en las conexiones, válvulas, etc.

b) La superficie del equipo deberá estar libre de aceite, grasas, óxidos, etc. Para ésto es recomendable limpiarlo mecánicamente con cepillo de alambre y estopa o químicamente si lo requiere el estado del equipo. Cuando la limpieza se haga mecánicamente, deberán usarse guantes de lona y lentes; cuando se haga químicamente deberá usarse además de los lentes, hombreras, mandil, botas y guantes de hule. En todos los casos deberá usarse casco protector.

c) Una vez limpio el equipo, se recomienda aplicar una mano de cromato de zinc, siguiendo en todo las instrucciones del fabricante. Puede usarse también si se desea una pintura anticorrosiva de prestigio en lugar del cromato de zinc.

d) El aislamiento generalmente se sujeta al equipo mediante flejes metálicos, usando también anillos flotantes en las cabezas de los equipos. Otro sistema es el de fijar el aislamiento mediante pernos Nelson soldados a los tanques o anclas de alambrón recocido soldadas a la superficie del equipo.

Si el aislamiento se coloca mediante pernos o anclas soldadas, éstos habrán de colocarse antes de aplicar el cromato de zinc o la pintura.

2) Colocación del aislamiento:

1) Aislamiento en una capa.- El aislamiento, ya sea en placas o colchonetas, se coloca sobre los tanques y se fija con flejes metálicos. Las colchonetas armadas deben llevar su cara de metal desplegado hacia el exterior. Las costuras entre las juntas deben hacerse con alambre galvanizado calibre 16, presionando las para que queden lo más junto posible.

2) Aislamiento en capas múltiples.- Cuando el espesor del aislamiento excede de 76 mm. (3"), generalmente se aplica en varias capas con las juntas cuatrapeadas.

3) Relleno de intersticios.- Cualquier hueco o intersticio deberá ser relleno completamente con trozos de colchoneta, fibra de vidrio, lana mineral suelta o trozos de placa.

4) Tanques verticales:

a) Cuerpo.- Las colchonetas o placas deberán descansar sobre los soportes del equipo con el metal desplegado hacia afuera cuando se trate de colchonetas, éstas deberán coserse con alambre galvanizado calibre 16.

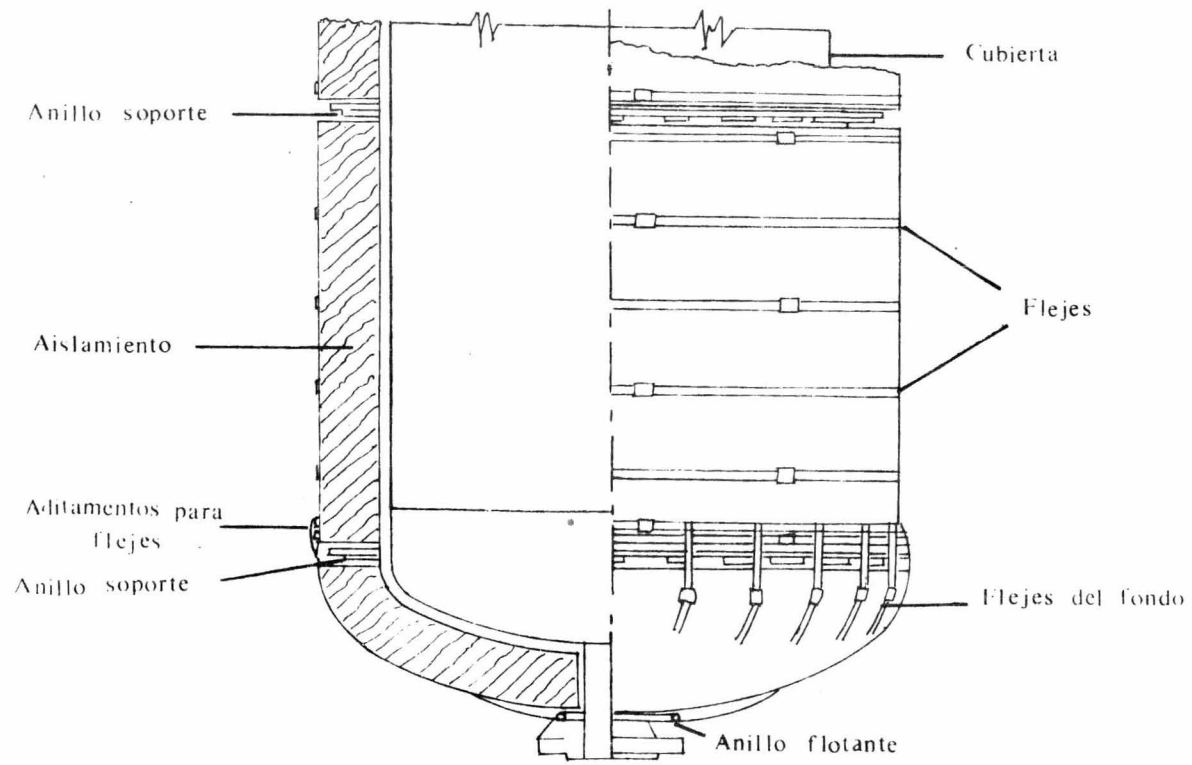


El material aislante se fija horizontal y verticalmente con flejes galvanizados de 13 x 0.6 mm. espaciados a 250 mm. (Figuras 13 , 14 y 15). Los flejes no deberán tener más de 6.0 m. de longitud. Si se requieren más largos, se juntarán dos o más piezas atirantadas con acoplamiento.

b) Cabezas de fondo.- Las colchonetas o placas, una vez que se les dá la forma adecuada, se fijan a la cabeza con flejes galvanizados. El aislamiento deberá descansar sobre los soportes. Las juntas entre las colchonetas adyacentes deberán presionarse para que el material esté lo más junto posible.

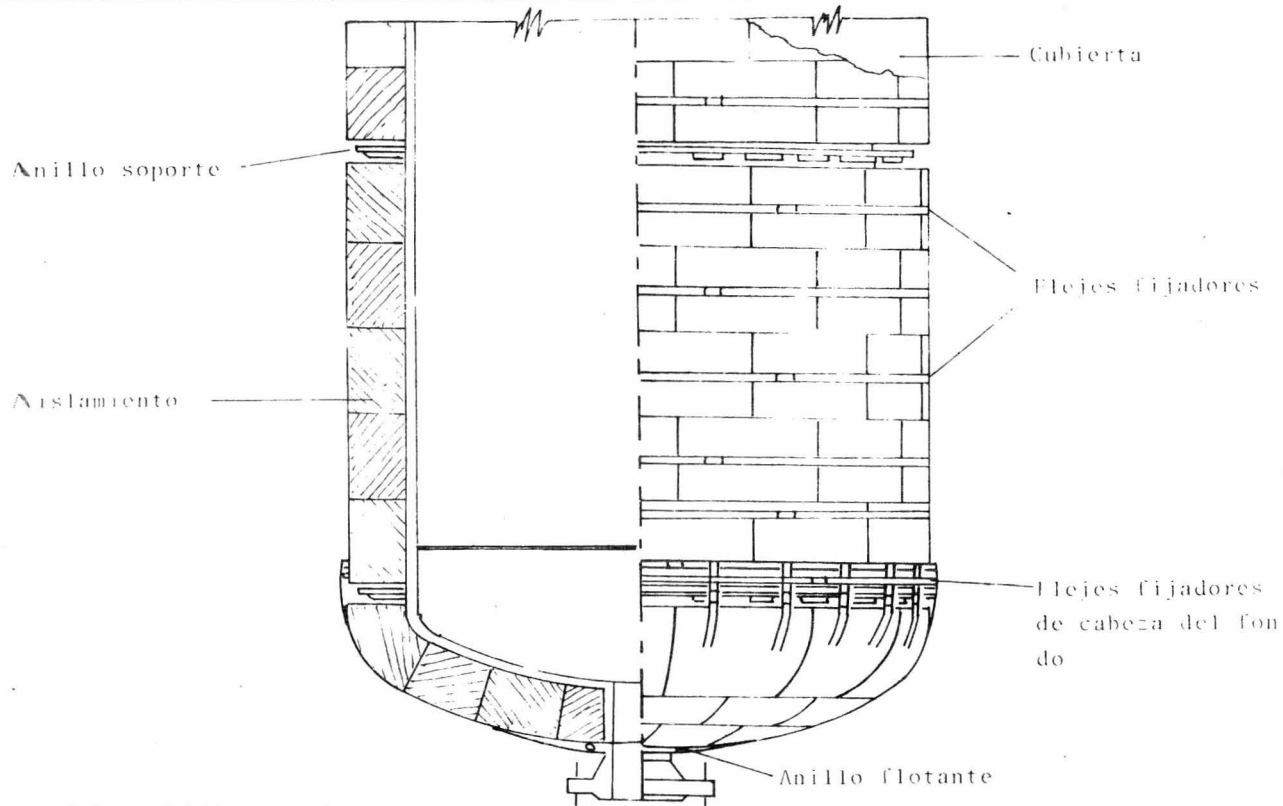
c) Cabezas superiores.- Las colchonetas o placas con la forma adecuada, serán soportadas por los flejes metálicos enganchados de un lado a dos flejes de 13 mm. fijados a la cubierta y por el otro lado a un anillo - flotante hecho de una barra redonda de 8 mm. colocada en el vértice de la cabeza superior. Figuras 15 y 16. Los flejes metálicos se espaciarán 30 mm.máximo a la periferia.

Las juntas entre las colchonetas adyacentes deberán ser presionadas entre sí y cosidas con alambre galvanizado calibre 16.



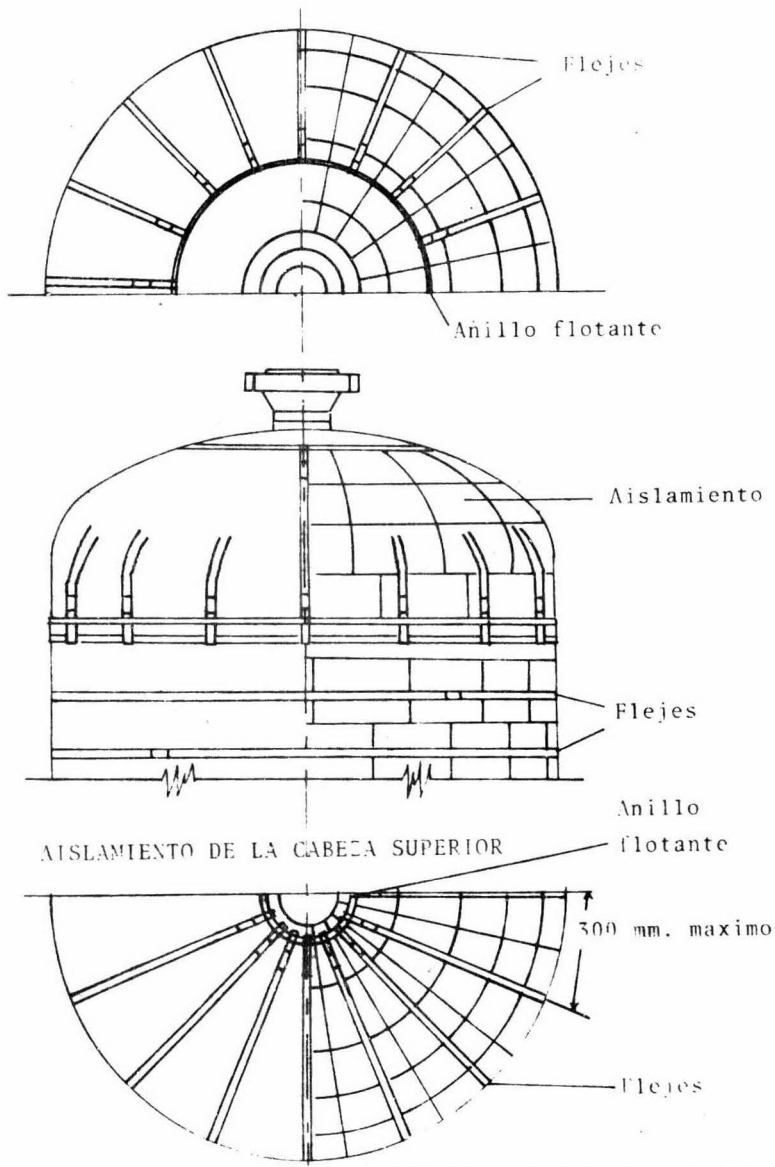
131

132



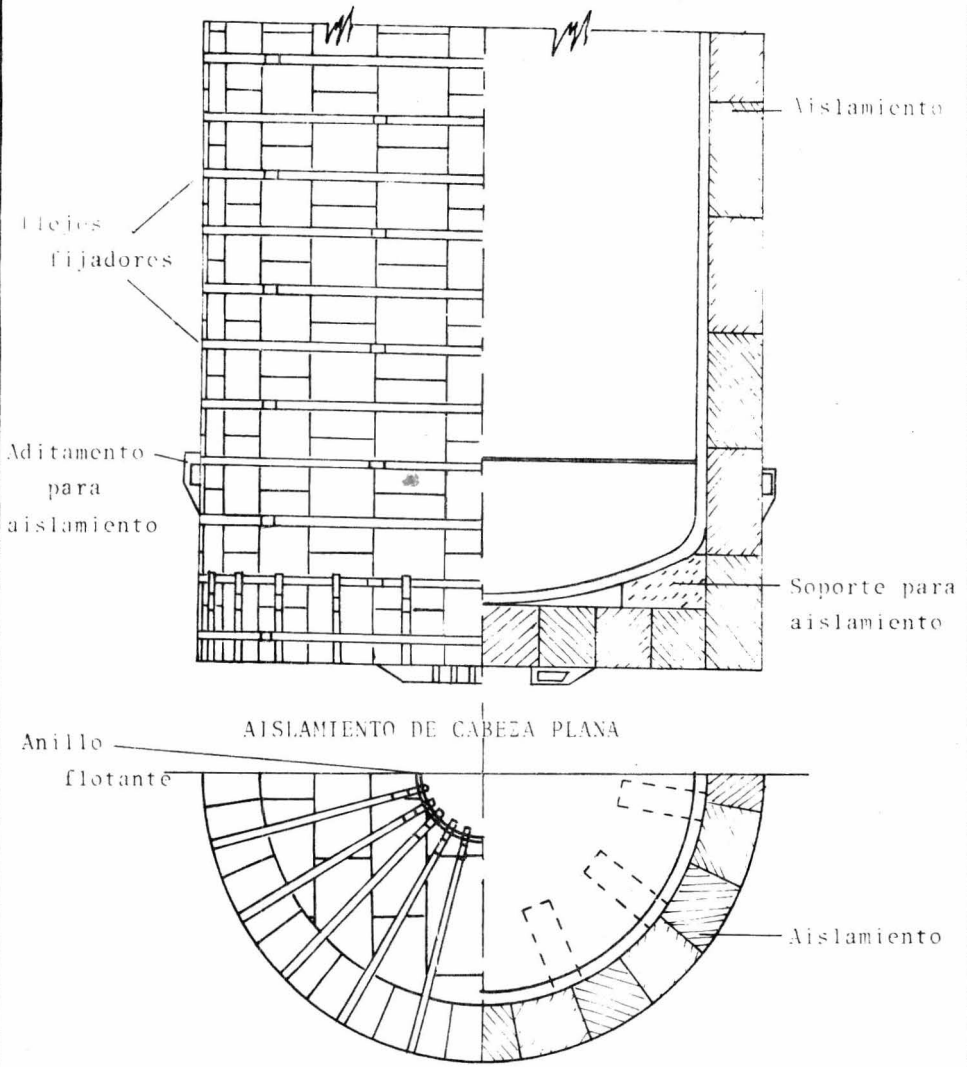
Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-14



Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-15



Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

Fig. 5-10

5) Tanques horizontales:

a) Cuerpo.- Las colchonetas de la porción más baja, se fijarán con flejes metálicos galvanizados de 13 mm. fijados circunferencialmente entre los soportes del aislamiento y espaciados a 250 mm. uno de otro.

Subsecuentemente, la porción superior del aislamiento se deberá dejar descansar sobre soportes especiales, - también esta parte deberá fijarse con flejes metálicos como se explicó anteriormente. En cualquier caso las juntas - entre colchonetas adyacentes deberán ser cosidas y presionadas una a otra con alambre galvanizado calibre 16. Deben entregarse al instalador del aislamiento debidamente colocados los anillos espaciadores.

b) Cabezas.- El aislamiento se hará como se indicó en el punto 2-4c).

6) Aislamiento de partes varias:

a) El aislamiento de faldones, patas, soportes, etc. se hace instalándose sobre las porciones inmediatamente adyacentes al ensamble del tanque. Figura 4-20.

b) El aislamiento de componentes especiales, deberá ser preferentemente de tipo fijo. Cuando se espera una inspección frecuente de estos componentes el aislamiento debe hacerse de tipo móvil, generalmente empacando cajas

metálicas fáciles de quitar sin dañar el aislamiento adyacente.

7) Colocación del aislamiento mediante pernos Nelson ó anclas de alambión.

El aislamiento ya sea en placas o en colchonetas armadas se instala insertándolo en los pernos o anclas previamente fijados al equipo. Los pernos son soldados al equipo mediante pistola Nelson a 300 mm. (12") de centro a centro (9 a 10 pernos por m<sup>2</sup>). Las anclas de alambión se instalan a las mismas distancias sólo que con máquina de soldadura eléctrica. Una vez insertado el aislamiento en los pernos o anclas, se mantiene en su lugar mediante el clip que se instala en el extremo cuando se trata de pernos Nelson o bien doblando las puntas de las anclas. En el caso de los pernos Nelson deben tener éstos una longitud igual al espesor del aislamiento que se use, puesto que éste debe formar una superficie uniforme con el aislamiento. Cuando se trate de anclas de alambión la longitud de éstas deben ser 25 mm. más largas que el espesor del aislamiento que se va a usar para que se puedan doblar.

El sistema de pernos Nelson y anclaje es más rápido que el de flejes pero más costoso.

8) Juntas de expansión.- Se debe instalar una -  
junta de expansión bajo cada soporte de aislamiento del  
cuerpo del equipo. Esta junta debe rellenarse con fi-  
bra de vidrio o lana mineral suelta.

No se requieren de juntas de expansión en las cabezas  
de los tanques.



II) Para aislamientos que trabajan a bajas temperaturas en donde se requiere no ganar calor:

En la actualidad todos los productos aislantes en el mercado requieren de una barrera de vapor para las instalaciones frías. Pues como ya se dijo, la humedad afecta adversamente la eficiencia del aislamiento. Sin embargo, no se sabe aún con precisión hasta que grado afecta la constante de conductividad térmica.

Algunos estudios efectuados, demostraron que bajo la base de un 10% de humedad por volumen, la conductividad térmica  $k$ , se elevó 225% en el corcho, 30% para los plásticos espumados y 25% para la fibra de vidrio. Esto se refiere a la humedad que penetra al aislamiento en forma de vapor de agua a través de los poros del material que en el caso del corcho y de los plásticos espumados además puede quedar retenida. La prueba no se refiere al agua como tal, que moja al aislamiento, pues si esto sucediera la instalación estaría mal hecha.

Generalmente la presión de vapor de agua en el ambiente es de 0.1 a 0.6 pulgadas de mercurio y en áreas muy húmedas puede variar entre 0.4 y 0.8 pulgadas de mercurio.

Hasta ahora ha sido costumbre usar como barreras de vapor diferentes plásticos, hojas de papel de aluminio (foils) y otros materiales que mediante adhesivos se fijan al material aislante; se ha observado que aunque estos materiales pueden constituir barreras de vapor, su manejo y aplicación es difícil y también costosa.

Los tres problemas comunes que se presentan cuando se usan barreras de vapor son:

- 1) Sello no adecuado en las juntas
- 2) Perforaciones en la barrera de vapor por accidente.
- 3) Falta de juntas adecuadas de contracción y/o expansión que causan que la barrera de vapor se fracture.

La hoja de aluminio aunque constituye una barrera de vapor excelente es muy difícil de manejar para su colocación y en ocasiones se corroe hasta el punto de pulverizarse resultando muy costoso reemplazarla.

Los materiales plásticos o recubrimientos en forma de pastas que constituyen barreras de vapor, a menudo no se usan en el espesor adecuado y aún cuando lo sea, tienen posibilidades de fracturarse con los movimientos

de contracción y dilatación.

A continuación se muestran las características de las barreras de vapor de mayor demanda.

MATERIAL	RESISTENCIA A LA PERFORACION	PERMEANCIA PERMS.	OBSERVACIONES
PELICULAS			
Pyro-Kure	Buena	0.01	Alto costo
Aluminio 0.001"	Mala	0.01-0.05	Difícil de manejar y se perfora fácilmente.
Aluminio 0.025"	Mala	0.005-0.01	Difícil de manejar y se perfora fácilmente.
Poliétileno 0.004"	Excelente	0.10	Económico y fácil de manejar.
Poliétileno 0.006"	Excelente	0.05	Económico y fácil de manejar.
Poliétileno 0.008"	Excelente	0.04	Económico y fácil de manejar.
MATERIALES PASTOSOS			
CI-Mastic 6025	Excelente con dos capas de glass fab	0.00	Costoso y falla en aislamiento.
CI-Mastic 6026	Excelente con dos capas de glass fab.	0.00	Costoso y falla en aislamiento.
Foam seal	Excelente con dos capas de glass fab	0.08	Costoso y falla en aislamiento
Vaportite 100		0.01	Costoso y falla en aislamiento
Asfalto 2 oz/ft <sup>2</sup>		0.50	Barato pero muy mala barrera y falla en aislamiento.

Como ya se dijo, el aislamiento y la barrera de vapor se deben usar cuando las temperaturas de la superficie del equipo estén abajo de la temperatura de rocío de la humedad del aire del medio ambiente. Esto evitará que la humedad condense sobre la superficie fría. El aislamiento seleccionado debe tener el espesor suficiente para hacer que la superficie del mismo, donde la barrera de vapor será colocada, tenga una temperatura arriba de la temperatura de condensación de la humedad del aire ambiente.

A) Para tuberías

1) Pasos preliminares.- Una vez checada, limpiada y protegida la tubería con cromato de zinc o pintura anticorrosiva, como se indica en la sección A-1 para aislamientos de tuberías que trabajan a altas temperaturas, se procede a la colocación del aislamiento.

2) Colocación del aislamiento.

a) Una vez preparada la tubería de acuerdo a los pasos preliminares y estando perfectamente seca la tubería, se procede a la colocación del aislamiento.

Los preformados se colocan con su junta lon-

gitudinal hacia abajo e inclinada lateralmente. Las juntas transversales se colocan en zig zag una respecto de la otra. Los preformados se fijan cuando se trata de pequeños diámetros con alambre galvanizado calibre 16 y para medianos y mayores diámetros se usan cinturones de fleje galvanizado de 13 mm (1/2") espaciados a 300 mm. de centro a centro. Las puntas de las amarras de los anillos de alambre se voltean hacia el aislamiento para evitar que se perfore la barrera de vapor. Figuras 4-1 y 4-2

b) Las juntas entre los diferentes tramos de aislamiento y las juntas longitudinales del preformado se deben sellar con un material que sea buena barrera de vapor de acuerdo a lo recomendado por el fabricante.

c) Cuando el espesor requerido excede de 51 mm. (2") el aislamiento se debe aplicar en capas múltiples, con sus juntas longitudinales y transversales en zig zag como se muestra en la figura 4-2. Cada capa debe tener un espesor no mayor de 38 mm. (1 1/2") La capa interior se coloca presionándola junto a la adyacente para reducir las juntas al mínimo y fijándola mediante anillos de alambre galvanizado calibre

16 distanciados a cada 300 mm. de centro a centro. La capa exterior se fija con flejes galvanizados de 13 mm. a cada 300 mm. de centro a centro. Figuras 4-1 y 4-2.

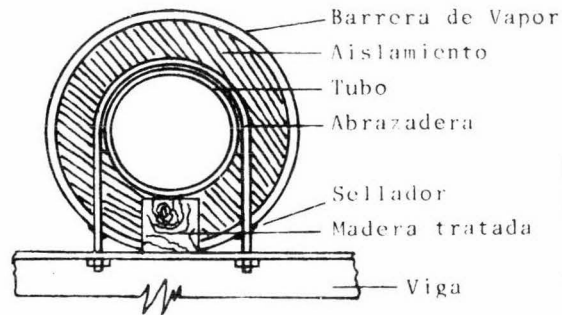
d) Cualquier intersticio o área hueca que se presente se debe rellenar con trozos del mismo material y fijados en su lugar con un mastique sellador. Los intersticios rellenos con mastique únicamente, no se recomiendan.

e) Tuberías verticales.- Se instalan en la misma forma que se describió para la tubería caliente, sección A-2-1b, sólo que se requiere especial cuidado con la barrera de vapor. Para los soportes del aislamiento véanse las figuras 4-3 y 4-4.

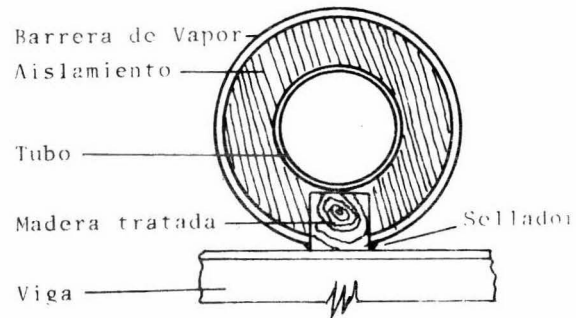
3) Aislamientos de accesorios.- (codos válvulas, tees, etc.) Todos estos accesorios se deben aislar como se especifica en la sección A-2-1-3 para tuberías calientes. Figuras 4-11, 4-12 y 4-17.

Todas las juntas entre los aislamientos se deben sellar con materiales que sean barreras de vapor, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes del material que se esté usando.

Si se requiere una frecuente inspección de bridas y válvulas, el aislamiento se puede colocar en es



SOPORTE



CORREDERA

tos casos dentro de una caja metálica removible. Dichas cajas en ningun punto interferirán con el acabado a prueba de intemperie de los tubos adyacentes. El cerrado de dichas cajas debe ser hecho a presión y con capas gruesas de mastique sellador. Cada vez que se requiera hacer una inspección, se debe tener cuidado con los sellos.

4) Barreras de vapor.- Siempre se coloca del lado caliente del aislamiento. Cualquier perforación que se tenga se debe evitar pues acarrea problemas de condensación.

a) Se puede usar Pyro-Kure; consiste en un laminado de papel kraft asfaltado y hojas de aluminio reforzado con malla de vidrio. La instalación de este material se debe hacer colocando la cara de aluminio hacia el aislamiento. Las juntas longitudinales y las circunferenciales se traslapan 51 mm. y se sellan con un material que sea barrera de vapor de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes del material aislante.

b) Hojas de aluminio; consiste en una lámina de aluminio de 0.001" ó 0.0025". La instalación de este material se debe hacer con mucho cuidado evitando



que se fracture o se pique con la superficie en donde se está cortando. Las juntas longitudinales y circunferenciales se deben traslapar 51 mm. y sellarse con un material que sea barrera de vapor de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes del material aislante.

c) Hoja de aluminio con refuerzo de polietileno; consiste en una película de polietileno adherida a una hoja de aluminio de 0.0025" de espesor. Este material es mas resistente que la hoja de aluminio sola, además de que la película de polietileno resulta ser una protección para la corrosión que se puede presentar en el aluminio.

Las juntas circunferenciales y longitudinales se deben traslapar 51 mm. y selladas con un material que sea barrera de vapor de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes del material aislante.

d) Materiales pastosos, éstos son usados generalmente como acabados sobre las barreras de vapor antes mencionadas.

Cuando se vayan a aplicar chaquetas metálicas pijadas sobre la barrera de vapor se debe usar una - capa de 15 a 20 mm. de espesor de fibra de vidrio, la

cual no forma parte del espesor del aislamiento, para evitar que las pijas perforen la barrera de vapor. Sobre dicha colchoneta comprimida apropiadamente a un espesor de 10 mm. la chaqueta se podrá aplicar de -- acuerdo a lo ya establecido..

5) Juntas de contracción.- Se deben instalar a cada 10 ó 12 m. Generalmente el material aislante de tubería se interrumpe 15 mm. y se rellena con un material aislante flexible como la fibra de vidrio blanca. Después de haberse aplicado la barrera de vapor sobre el aislamiento de la tubería, se aplica una capa de aislamiento como se muestra en la figura 4-19. Finalmente la barrera de vapor se debe aplicar en este tramo de aislamiento seguido del acabado final que se seleccione.

Juntas de contracción para aislamientos con capas múltiples.

a) En tuberías horizontales, las juntas de cada capa individual deben ser en zig zag como se muestra en la figura 4-18 y 4-19. En cada junta el aislamiento se interrumpe 15 mm. rellenándose con un material aislante flexible. La junta exterior se debe sellar con un material que sea barrera de vapor.

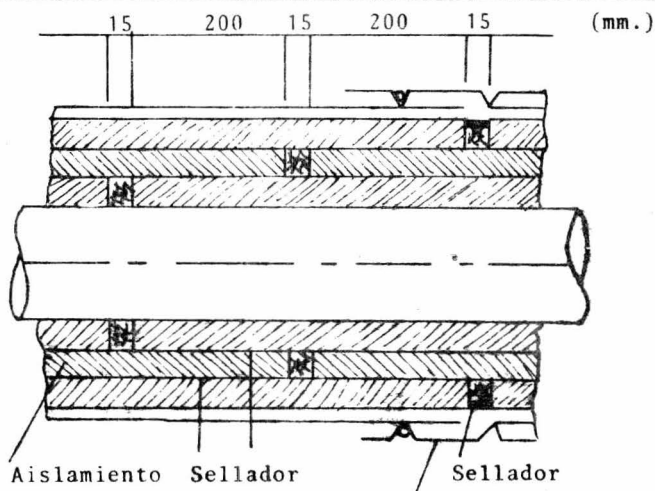
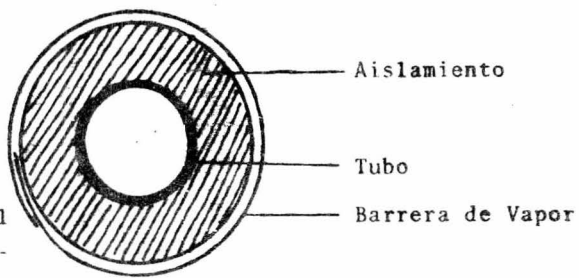
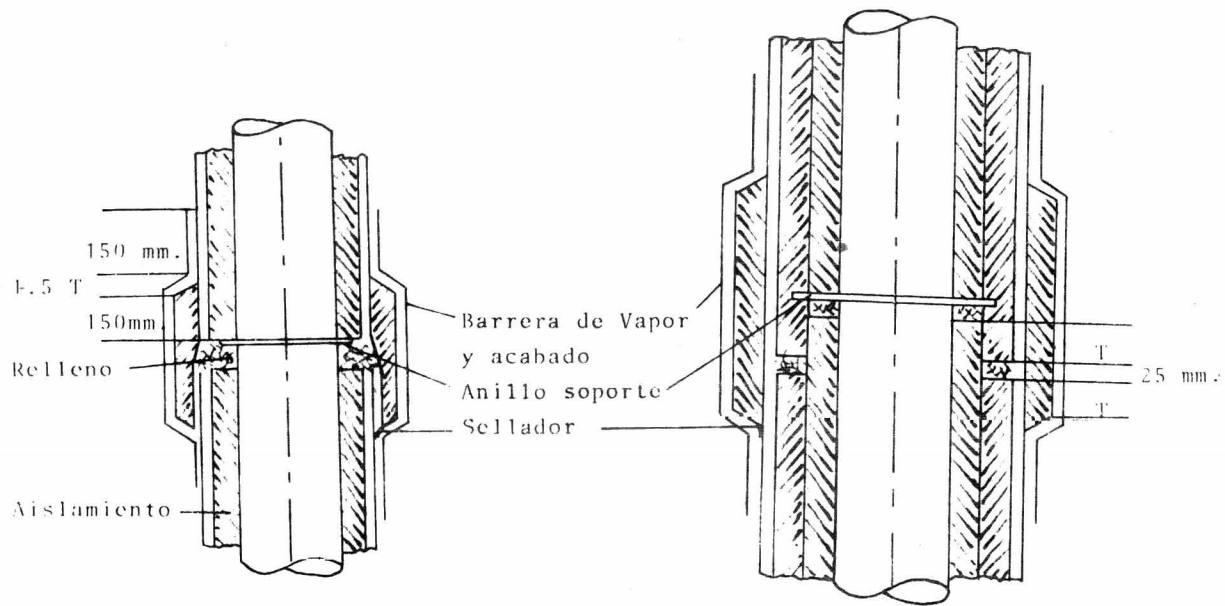


Lámina fijada en un solo extremo



La junta longitudinal debe ser traslapada - hacia abajo y sellada



JUNTA DE CONTRACCION PARA  
AISLAMIENTO CON UNA SOLA  
CAPA

JUNTA DE CONTRACCION PARA  
AISLAMIENTO CON CAPAS MULTIPLES

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-19

b) En tuberías verticales, las juntas en cada capa individual deben ser en zig zag como se muestran en las figuras 4-18 y 4-19. Los trozos usados de aislamiento en la junta, deben impregnarse en sus caras con mastique sellador. En cada junta el aislamiento se interrumpe 15 mm. relleniéndose con un material aislante flexible. Después de la aplicación de la barrera de vapor sobre la tubería aislada, se aplica una sección rígida de aislamiento sobre la junta exterior como se muestra en la figura 4-18 y 4-19. Finalmente la barrera de vapor se debe aplicar en ese tramo de aislamiento, seguido del acabado final que se seleccione.

6) Los soportes para tubería se deben tratar como se expresa en el inciso A-2-1-e) para aislamiento de tuberías que trabajan a altas temperaturas. La diferencia en estos casos serán los cuidados con los sellos y la barrera de vapor (inciso 4 de esta sección).

B) Para equipos:

1) Pasos preliminares.- Una vez checado, limpio y protegido al equipo con cromato de zinc o pintura anticorrosiva, como se indicó en la sección B-1- para aislamiento de equipos que trabajan a altas temperaturas, se procede a la colocación del aislamiento.

2) Colocación del aislamiento:

a) Aislamiento en una capa.- El aislamiento en capas se sujeta sobre los tanques o equipos perfectamente secos con sus juntas cuatrapeadas. Las juntas se deben sellar con un material que se barrera de vapor de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del material -- aislante, aplicándose en ambas caras de contacto de la junta. Cualquier borde, viselado, trozos caidos, etc. - de las placas del aislamiento, se deben llenar con pedasos de aislamiento impregnados con el material de junteo. La cantidad de material de junteo que se coloque - debe ser suficiente para asegurar la adhesión, unión y elasticidad de la junta.

Las placas del aislamiento se sujetan con flejes galvanizados de 13 mm. (1/2"). Si el tanque ó equipo va a estar sometido a periódicos descongelamientos - mediante calor, debe asegurarse que el material aislante del tanque o equipo sea flexible. En caso de aislar con fibra de vidrio, no existe éste problema, pero con otros materiales rígidos se hace necesario poner una capa de 15 mm. de fibra de vidrio flexible y fijarla con alambre un tanto flojo para que el material sea compresible. Posteriormente se coloca el aislamiento rígido.

b) Aislamiento en capas multiples: - Cuando el - espesor exceda de 80 mm. (3" aproximadamente), el aislame

miento se aplica en capas múltiples con sus juntas cuatrapeadas. Cada capa tendrá un mínimo de 40 mm. (1 1/2" aproximadamente) de espesor y si es posible, múltiplos de los espesores de otras capas.

Las capas interiores se aplican sobre superficies completamente secas con sus juntas cuatrapeadas. Las placas así instaladas se fijan con alambre galvanizado calibre # 16. La capa exterior se instala como se explicó para aislamiento en una sola capa; cuando va a tenerse descongelamiento con calor, la colchoneta antes mencionada debe aplicarse primero. Cualquier borde, visado, trozos caídos, etc. de las placas del aislamiento se deben llenar con pedazos de aislamiento impregnado con el material de junteo. En todos los casos las juntas se deben sellar con un material que sea barrera de vapor.

### 3) Tanques verticales:

a) Cuerpo.- El aislamiento se apolla en los soportes del tanque y se asegura horizontal y verticalmente cuando se requiera, con flejes galvanizados de 13 mm. (1/2") espaciados a 250 mm. de centro a centro; la máxima longitud de los flejes no debe exceder de los 6 m, cuando esto suceda, se forman secciones unidas por medio de coples de rosca o tuercas ( Figuras 4-13 4-14 y 4-15.

b) Cabezas del fondo.- Las placas aislantes se fijan a la cabeza del fondo de los tanques mediante flejes galvanizados ( 8 alambre galvanizado si es más práctico), sujetos a los soportes. Si no se instalaron soportes en el fondo, el aislamiento se instaló como se explica en el inciso siguiente.

c) Cabezas superiores.- El aislamiento se soporta mediante flejes metálicos galvanizados de 13 mm. (1/2"), sujetos a su vez al cuerpo por un lado y al otro por un anillo flotante circular hecho de alambón de 8 mm. colocado en el vértice de la cabeza superior, los flejes deben espaciarse 300 m. de centro a centro en la periferia del lado del cuerpo. Si es conveniente y práctico, las cabezas superiores pueden aislarse como si fueran superficies planas como se indica en las figuras 4-15 y 4-16

#### 4) Tanques horizontales:

a) Cuerpo.- Las placas de aislamiento se fijan con flejes galvanizados extendidos circunferencialmente entre los soportes del aislamiento y espaciados 250 mm' de centro a centro. Subsecuentemente, la porción superior del tanque se aísla con las placas descansándolas sobre soportes apropiados, también éstas placas se flejan como arriba se indica.

b) Cabezas.- El aislamiento se efectúa como se indica en los incisos b y c para tanques verticales.

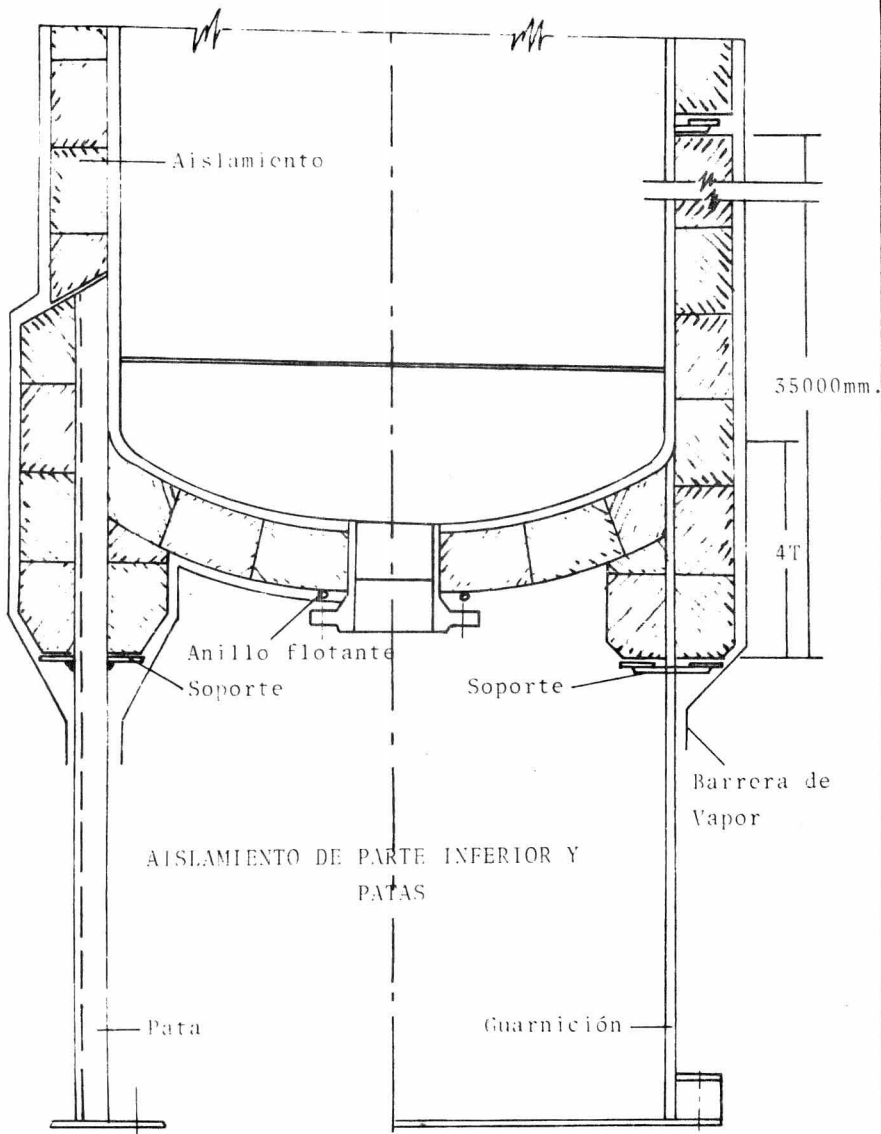
#### 5) Aislamiento de accesorios:



a) Soportes faldones y patas.- Se aíslan externa e internamente de acuerdo al procedimiento indicado para la cubierta del tanque cuando menos hasta una exten- ción de cuatro veces el espesor del aislamiento, a me - nos que otra cosa se especifique. (Fig. 4-20).

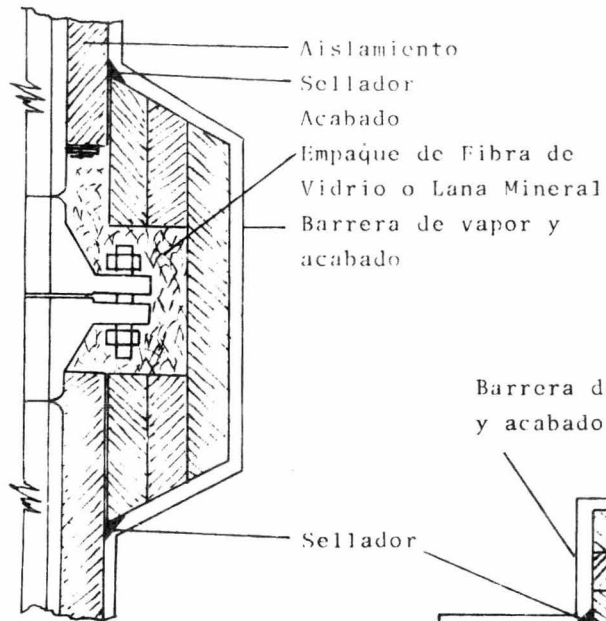
b) Partes especiales (orificios para hombre, -- boquillas, bridas, etc.).- Todas las partes especiales se aíslan con segmentos de material aislante apropiada<sup>u</sup> mente cortado y prefabricado con la técnica mencionada en el inciso B-2-a. El espesor del aislamiento para - los orificios para hombre, bridas ciegas, medidores de nivel, etc.; debe ser igual al espesor del aislamiento del tanque. El espesor del aislamiento de boquillas - debe ser igual al espesor del aislamiento de la tube - ría conectada.

Todas las juntas deben estar lo mejor sella- das posible y completamente impermeabilizadas. El - - aislamiento de las partes especiales debe ser facilmen<sup>u</sup> te removible sin dañar el aislamiento adyacente. Se de<sup>u</sup> ben tomar precauciones para dejar que los pernos pue - dan quitarse cuando sea necesario. Los espacios vacíos entre las superficies de los componentes especiales y - las superficies del aislamiento colocado, se deben - - llenar con fibra de vidrio suelta; el uso de material rígido desmenuzado no es recomendable para fines de -- relleno. Figura 4-21

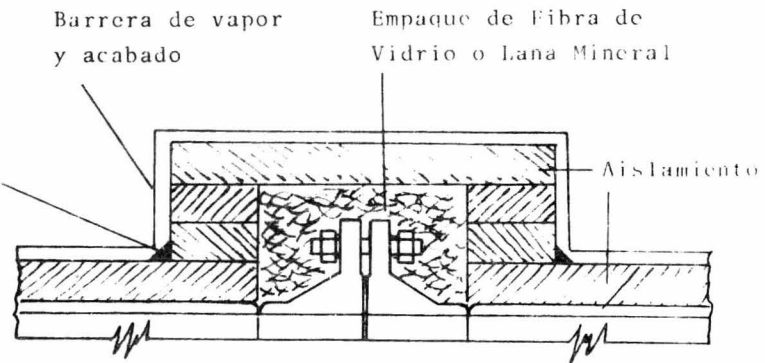


Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-20



AISLAMIENTO DE UNA BRIDA



Manual para la Selección e Instalación  
 de Aislamientos Térmicos

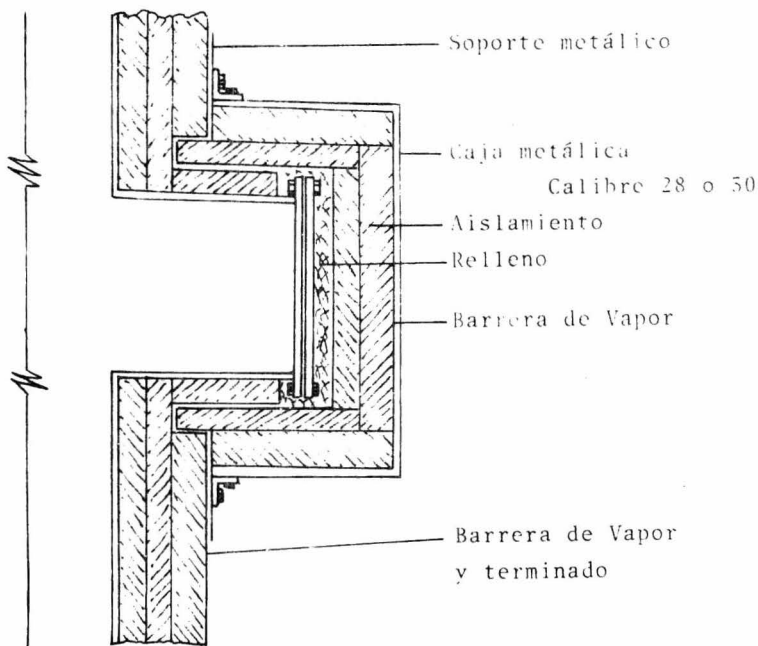
F-5-21

Las piezas especiales que requieran inspección posterior se deben hacer empacando cajas metálicas removibles con el material aislante seleccionado, dichas cajas no interferirán en ningún punto con el acabado del equipo, el cerrado de dichas cajas debe ser sellado con gruesas capas de mastique sellador. Cada vez que se requiere una inspección, debe tenerse cuidado con los sellos (Fig. 4-22)

6) Equipos irregulares:

a) Los soportes para el aislamiento, si los hay, se deben diseñar para cada caso en particular. El equipo debe ser aislado de acuerdo a la uniformidad que se requiera en la superficie, dándole la forma adecuada a las placas de aislamiento mediante cortes apropiados. En donde debido a la irregularidad del equipo, no se permita lo anterior, el equipo se debe serrar con placas de material aislante rígido y los espacios vacíos se rellenan con fibra de vidrio suelta. Cualquier borde, viselado, trozos caídos, etc. de las placas del aislamiento usado impregnado con el material de junteo. En todos los casos las juntas se deben sellar con un material que sea barrera de vapor.

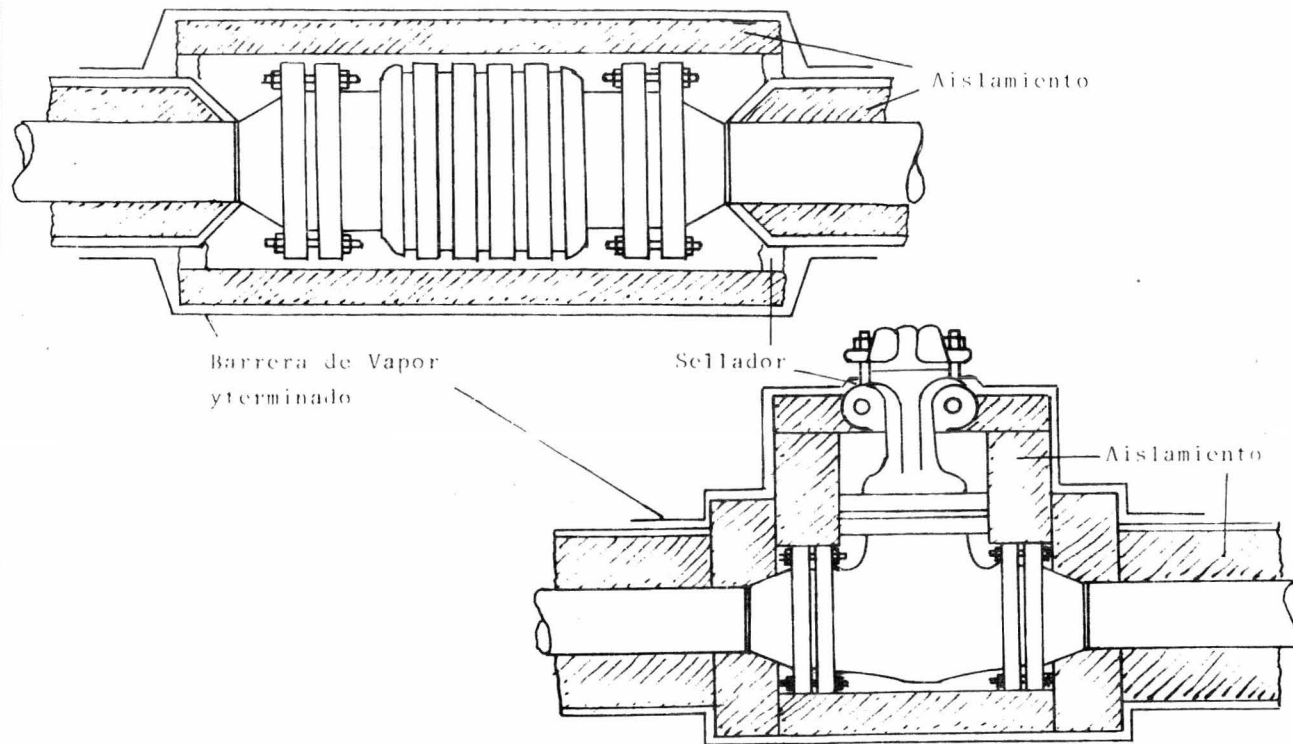
b) Cuando se va a requerir inspeccionar con frecuencia al equipo, el aislamiento se efectuará si es posible, mediante cajas metálicas removibles empacadas con



PIEZA ESPECIAL PARA ORIFICIO DE HOMBRE

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

U-5-22



Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

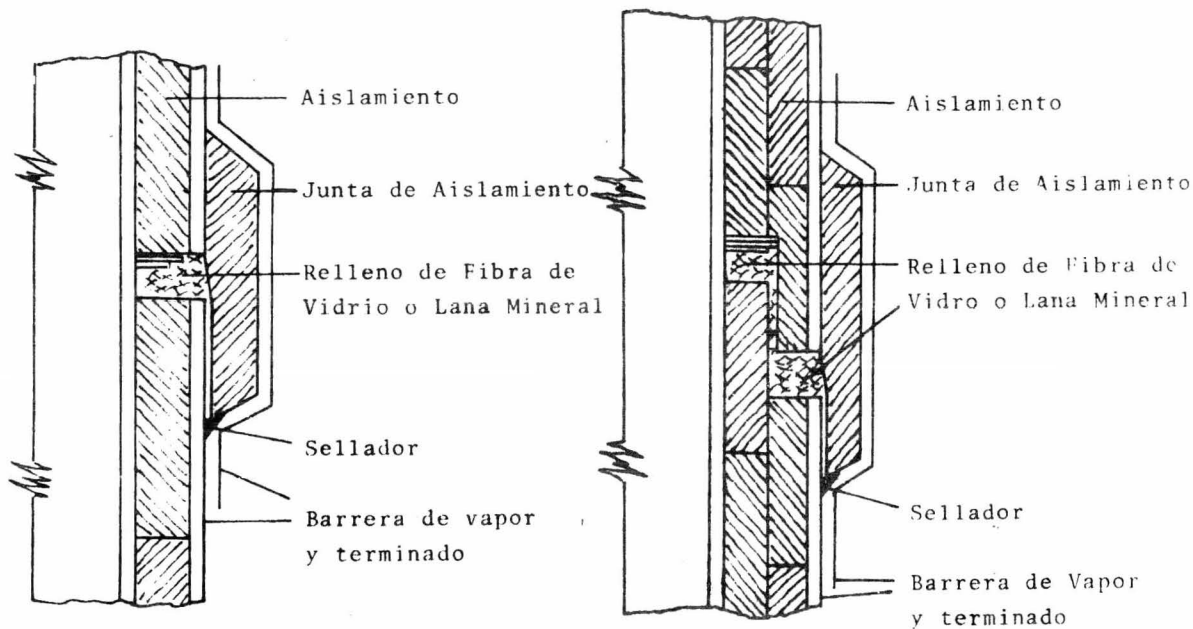
F-5-23

el material aislante seleccionado, siguiendo los pasos descritos en el inciso B-5-b).

7) Barrera de vapor.- La barrera de vapor se debe instalar sobre la superficie del aislamiento instalado como ya se especificó. En los materiales que no son atacados por solventes como son las diferentes -- formas de fibra de vidrio, se pueden aplicar las barreras de vapor directamente sobre el aislamiento con llana o asperción, con membranas de refuerzo. Los aislamientos que son sensibles a los solventes, como son las espumas plásticas, deben llevar barreras de vapor del tipo hoja de aluminio ó película de polietileno-adheridas al equipo aislado con un material que sea barrera de vapor translapado tanto sus juntas longitudinales como transversales por lo menos 50 mm. Dichas juntas se deben sellar con un material que sea barrera de vapor.

8) Juntas de contracción.- Se debe de proveer al equipo con una junta de contracción abajo de cada soporte de aislamiento tal como se describe para los siguientes casos. (Generalmente en las cabezas de los tanques no se instalan juntas de contracción).

a) Juntas de contracción para una sola capa de aislamiento.- Se suspende el aislamiento 25 mm. antes del soporte del aislamiento rellorando el espacio con fibra de vidrio blanca; después de aplicar la barre-



JUNTA DE CONTRACCION EN TANQUES  
CON AISLAMIENTO EN UNA CAPA

JUNTA DE CONTRACCION EN TANQUES  
CON AISLAMIENTOS EN CAPAS MULTIPLES

Manual para la Selección e Instalación  
de Aislamientos Térmicos

F-5-24



ra de vapor sobre el aislamiento, se coloca una capa de aislamiento rígido sobre la junta como se muestra en la fig.4-24. Finalmente, se aplica la barrera de vapor para ésta nueva capa.

b) Juntas de contracción para aislamiento con e capas múltiples.- Las juntas en cada tapa deben ser cuadradas como se muestra en la fig. 4-24. Cada junta debe ser rellena con fibra de vidrio suelta. Después de aplica la barrera de vapor general, se aplica una capa de aislamiento rígido sobre el exterior de la junta. Finalmente se aplica la barrera de vapor para ésta nueva capa.

9) Acabados.- Véanse las secciones correspondientes a acabados de este capítulo.

Cuando el acabado que se vá a aplicar es a base de chaquetas metálicas pijadas, se debe aplicar una capa de fibra de vidrio de 15 a 20 mm. de espesor (la cual no forma parte del espesor del aislamiento), para evitar que las pijas que se aplican en la chaqueta metálica pueden perforar la barrera de vapor. La colchoneta aplicada se fija y comprime con alambre galvanizado calibre # 16 hasta que alcance 10 mm. de espesor.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6

— Para los casos en que los procesos no requieran que una cierta linea o equipo queden térmicamente aislados, es decir, que no importa la perdida de calor, pero que esten al alcance del personal presentando un riesgo para el mismo, se ha hecho una regla aislar con espesores lo suficientemente grandes para que la temperatura de la pared del aislamiento sea cercana a la temperatura ambiente no importando que no sea el espesor optimo recomendado para la mejor concervación del calor. Como consecuencia se recomienda para seguridad del personal el aislar todo equipo y tuberia que este a su alcance hasta una altura de 2.50 m.

— Los espesores recomendados en las tablas de este manual estan calculados para una temperatura media ambiente de 20 °C y 27 °C y en lugares cerrados y sin flujos forzados de aire.

Para tuberias exteriores expuestas a la in-

temperie donde hay corrientes de aire, conviene pasar - el espesor inmediato superior para evitar el efecto del viento y como consecuencia mayores pérdidas de calor, - debidas al aumento del gradiente de temperatura entre - la pared exterior del tubo y la cara externa del aisla- miento.

— Cuando el espesor del aislamiento se haya cal culado mediante el criterio del espesor óptimo económi- co, y los espesores encontrados no sean de fabricación- normal en el mercado, los espesores a instalar, deben - ir siempre al espesor normal inmediato superior, ya que se pierde menos cantidad de calor aún cuando la superfi- cie de radiación sea mayor que si se escoge el espesor- normal inmediato inferior aún cuando la superficie de - radiación sea menor ya que el gradiente de temperaturas resulta mayor.

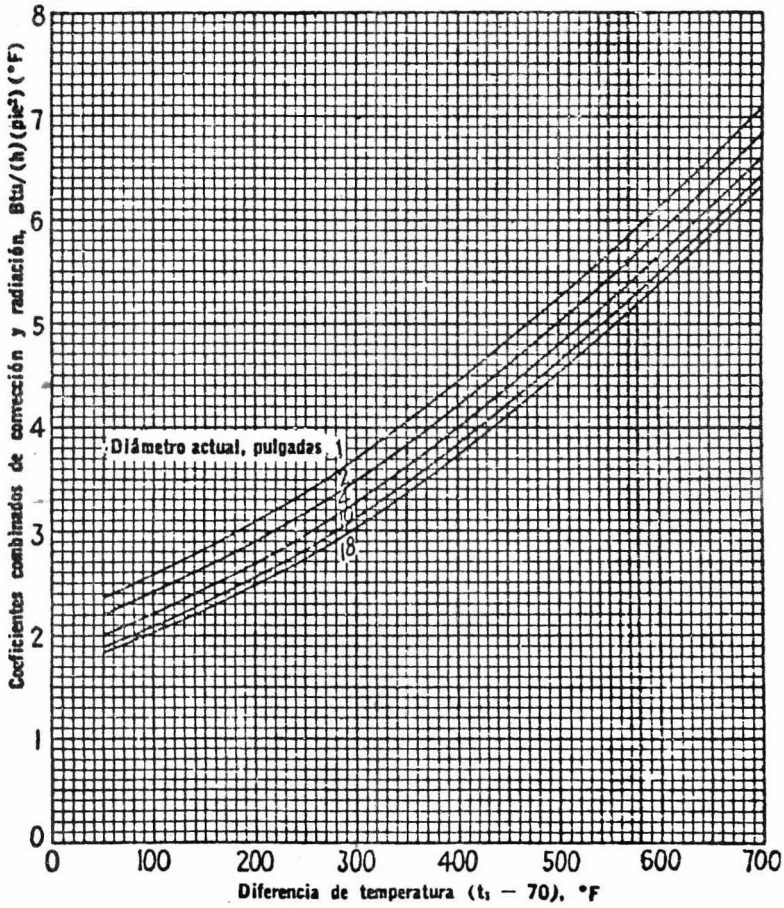
— Para los casos en que los equipos sean de - - grandes dimensiones, en donde las cubiertas protectoras no se pueden instalar directamente sobre los aislantes, se deben diseñar soportes especiales para cada caso te niendo en cuenta el peso de las cubiertas, los movimien- tos de contracción, dilatación y vibración del equipo, - así como el equipo de ensamble de las mismas.

— Es muy importante hacer notar que no deben u- sarse materiales aislantes fuera de los límites de tem- peraturas máximas fijadas por el fabricante para obte -

ner siempre un mayor rendimiento y durabilidad en las instalaciones.

—— Cuando las temperaturas de la tubería por aislarse sean menores que la temperatura de condensación de la humedad del aire ambiente, es indispensable hacer uso de las barreras de vapor aunque la temperatura exterior del aislamiento sea mayor que la -- temperatura de condensación de la humedad del ambiente.

## APENDICE



Transferencia de calor por convección y radiación de tubos horizontales a temperatura  $t_1$  a aire a 70°F

TABLA - A-1

TABLA -A-2

TIPO DE SUPERFICIE	TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE				
	100 °F	150 °F	200 °F	250 °F	300 °F
	38 °C	65 °C	93 °C	121 °C	149 °C
	$h_a \left( \frac{B T U}{hr ft^2 °F} \right)$				
<b>SUPERFICIES PLANAS</b>					
Verticales	1.68	2.07	2.38	2.67	2.95
Horizontales hacia arriba	1.86	2.32	2.66	2.98	3.28
Horizontales hacia abajo	1.46	1.77	2.03	2.29	2.54

Esta tabla se ha calculado para una temperatura ambiente de 21 °C (70 °F) por medio de las ecuaciones:

$$h_a = h_c + h_r e$$

Donde:

$h_a$  = Coeficiente combinado de convección y radiación BTU/ hr ft<sup>2</sup> °F

$h_c$  = Coeficiente laminar de convección - en BTU/ hr ft<sup>2</sup> °F

$h_r$  = Coeficiente de radiación en  $\frac{BTU}{hr ft^2}$

$e$  = Emisividad de la superficie del aislamiento ( supuesta 0.9)

Donde el coeficiente laminar de convección y radiación es:

a) En superficies planas Horizontales

$$h_c = 0.38 (\Delta t)^{0.25}$$

b) En superficies planas Verticales

$$h_c = 0.28 (\Delta t)^{0.25}$$

c) En superficies planas hacia abajo

$$h_c = 0.20 (\Delta t)^{0.25}$$

d) En superficies cilíndricas Horizontales

$$h_c = 0.22 \left( \frac{\Delta t}{D'} \right)^{0.25}$$

e) En superficies cilíndricas verticales

$$h_c = 0.27 \left( \frac{\Delta t}{D'} \right)^{0.25}$$

Siendo:

$\Delta t$  = Diferencias de temperaturas en °F entre la superficie y el ambiente.

$D'$  = Diámetro exterior de la tubería en ft.

Y la transmisión de calor por radiación está dada por:

$$h_r = \frac{17.3 (10^{-10})}{T_1 - T_2} e (T_1^4 - T_2^4)$$

$T_1$  = Temperatura absoluta en °R de la superficie caliente.

$T_2$  = Temperatura absoluta en °R del aire.



**Energía y potencia:**

Btu = 0.252 kg-cal  
 Btu = 0.293 watt-h  
 Btu = 0.555 pcu (Unidad libra centígrado)  
 Btu = 778 pie-lb  
 Btu/min = 0.236 hp  
 Hp = 42.4 Btu/min  
 Hp = 33 000 pie-lb/min  
 Hp = 0.7457 kw  
 Hp-h = 2 543 Btu  
 Kw = 1.3415 hp  
 Watt-h = 3.415 Btu

**Flujo de fluidos:**

Bbl/h = 0.0936 cfm  
 Bbl/h = 0.700 gpm  
 Bbl/día = 0.0292 gpm  
 Bbl/día = 0.0039 cfm  
 Cfm = 10.686 bbl/h  
 Gpm = 1.429 bbl/h  
 Gpm = 34.3 bbl/día  
 Gpm  $\times$  s (gravedad específica) = 500  $\times$  s lb/h

**Coefficientes de transferencia de calor:**

Btu/(h)(pie<sup>2</sup>)(°F) = 1.0 pcu/(h)(pie<sup>2</sup>)(°C)  
 Btu/(h)(pie<sup>2</sup>)(°F) = 4.88 kg-cal/(h)(m<sup>2</sup>)(°C)  
 Btu/(h)(pie<sup>2</sup>)(°F) = 0.00204 watts/(plg<sup>2</sup>)(°F)

**Longitud, área y volumen:**

Bbl = 42 gal  
 Bbl = 5.615 pie<sup>3</sup>  
 Cm = 0.3937 plg  
 Pie<sup>3</sup> = 0.1781 bbl  
 Pie<sup>3</sup> = 7.48 gal  
 Pie<sup>3</sup> = 0.0283 m<sup>3</sup>  
 M<sup>3</sup> = 6.290 bbl  
 M<sup>3</sup> = 35.314 pie<sup>3</sup>  
 Pies = 30.48 cm  
 Pies = 0.3048 m  
 Gal = 0.02381 bbl  
 Gal = 0.1337 pie<sup>3</sup>  
 Gal = 3.785 lt  
 Gal = 0.8327 gal (Imperial)  
 Plg = 2.54 cm  
 Litro = 0.2642 gal  
 Litro = 1.0567 qt

$$M = 3.281 \text{ pie}$$

$$\text{Pie}^2 = 0.0929 \text{ m}^2$$

$$M^2 = 10.76 \text{ pie}^2$$

#### Presión

$$\text{Atm} = 33.93 \text{ pies de agua a } 60^\circ\text{F}$$

$$\text{Atm} = 29.92 \text{ plg Hg a } 32^\circ\text{F}$$

$$\text{Atm} = 760 \text{ mm Hg a } 32^\circ\text{F}$$

$$\text{Atm} = 14.696 \text{ lb/plg}^2$$

$$\text{Atm} = 2\,116.8 \text{ lb/pie}^2$$

$$\text{Atm} = 1.033 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Pies de agua a } 60^\circ\text{F} = 0.4331 \text{ lb/plg}^2$$

$$\text{Plg de agua a } 60^\circ\text{F} = 0.361 \text{ lb/plg}^2$$

$$\text{Kg/cm}^2 = 14.223 \text{ lb/plg}^2$$

$$\text{Psí} = 2.309 \text{ Pies de agua a } 60^\circ\text{F}$$

#### Temperatura:

$$\text{Temperatura } ^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$\text{Temperatura } ^\circ\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C} + 32)$$

$$\text{Temperatura } ^\circ\text{F absoluta } (^{\circ}\text{R}) = ^\circ\text{F} + 460$$

$$\text{Temperatura } ^\circ\text{C absoluta } (^{\circ}\text{K}) = ^\circ\text{C} + 273$$

#### Conductividad térmica:

$$\text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F}/\text{pie}) = 12 \text{ Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F}/\text{plg})$$

$$\text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F}/\text{pie}) = 1.49 \text{ kg-cal}/(\text{h})(\text{m}^2)(^{\circ}\text{C}/\text{m})$$

$$\text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F}/\text{pie}) = 0.0173 \text{ watts}/(\text{cm}^2)(^{\circ}\text{C}/\text{cm})$$

#### Viscosidad (factores adicionales están contenidos en la Fig. 13).

$$\text{Poise} = 1 \text{ g}/(\text{cm})(\text{seg})$$

$$\text{Centipoise} = 0.01 \text{ poise}$$

$$\text{Centipoise} = 2.42 \text{ lb}/(\text{pie})(\text{h})$$

#### Peso:

$$\text{Lb} = 0.4536 \text{ kg}$$

$$\text{Lb} = 7\,000 \text{ granos}$$

$$\text{Tonelada (corta o neta)} = 2\,000 \text{ lb}$$

$$\text{Tonelada (larga)} = 2\,240 \text{ lb}$$

$$\text{Tonelada (métrica)} = 2\,205 \text{ lb}$$

$$\text{Tonelada (métrica)} = 1\,000 \text{ kg}$$

#### Constantes:

$$\text{Aceleración de la gravedad} = 32.2 \text{ pies}/\text{seg}^2$$

$$\text{Aceleración de la gravedad} = 4.18 \times 10^8 \text{ pies}/\text{h}^2$$

$$\text{Densidad del agua} = 62.5 \text{ lb}/\text{pie}^3$$



173

Diámetro nominal		Diám. de la tubería	Radio int.de aislamiento	Espesores							
mm	Pulg			Pulg	Pulg	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3
6.3	1/4	0.540	0.270	0.160	0.240	0.299	0.338	0.370	0.396	0.419	0.439
9.5	3/8	0.675	0.337	0.144	0.219	0.269	0.308	0.339	0.364	0.387	0.406
13	1/2	0.840	0.420	0.124	0.193	0.241	0.278	0.308	0.333	0.355	0.374
19	3/4	1.050	0.525	0.106	0.169	0.214	0.250	0.278	0.303	0.324	0.342
25	1	1.315	0.657	0.090	0.147	0.189	0.222	0.249	0.273	0.293	0.311
32	1 1/4	1.660	0.830	0.075	0.125	0.164	0.195	0.221	0.243	0.263	0.280
38	1 1/2	1.900	0.950	0.067	0.114	0.150	0.180	0.205	0.226	0.245	0.262
51	2	2.375	1.187	0.055	0.097	0.130	0.157	0.180	0.200	0.218	0.234
64	2 1/2	2.875	1.437	0.047	0.084	0.113	0.138	0.160	0.179	0.196	0.211
76	3	3.500	1.750	0.039	0.072	0.098	0.121	0.141	0.158	0.174	0.189
89	3 1/2	4.000	2.000	0.035	0.064	0.089	0.110	0.129	0.145	0.161	0.174
102	4	4.500	2.250	0.032	0.058	0.081	0.101	0.119	0.134	0.149	0.162
114	4 1/2	5.000	2.500	0.029	0.053	0.074	0.092	0.110	0.125	0.139	0.152
127	5	5.563	2.781	0.026	0.048	0.068	0.086	0.102	0.116	0.129	0.141
152	6	6.625	3.312	0.022	0.041	0.059	0.075	0.089	0.102	0.114	0.126
178	7	7.625	3.812	0.019	0.037	0.053	0.067	0.080	0.092	0.103	0.114
203	8	8.625	4.312	0.017	0.033	0.047	0.060	0.072	0.084	0.094	0.104
228	9	9.625	4.812	0.015	0.030	0.043	0.055	0.066	0.077	0.087	0.096
254	10	10.750	5.375	0.014	0.027	0.039	0.050	0.060	0.070	0.079	0.088
304	12	12.750	6.375	0.012	0.023	0.033	0.043	0.052	0.061	0.069	0.077
355	14	14.000	7.000	0.011	0.021	0.031	0.040	0.048	0.056	0.064	0.071
406	16	16.000	8.000	0.0096	0.018	0.027	0.035	0.043	0.050	0.057	0.064
457	18	18.000	9.000	0.0086	0.016	0.024	0.032	0.039	0.045	0.052	0.058
508	20	20.000	10.000	0.0077	0.015	0.022	0.029	0.035	0.041	0.047	0.053
609	24	24.000	12.000	0.0065	0.012	0.018	0.024	0.030	0.035	0.040	0.045

VALORES DE

$$\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi}, \text{ en}$$

$$Q = \frac{1(t_1 - t_2)}{\frac{1}{K} \left( \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi} \right) + \frac{1}{f}}$$

Diámetro nominal		Diferencia de temperatura entre el aire y la tubería, en °F									
mm	Pulg	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
13	1/2	55	136	247	394	581	820	1120	1482	1929	2469
19	3/4	67	167	304	483	716	1013	1381	1835	2391	3064
25	1	82	206	373	595	881	1252	1709	2275	2967	3805
32	1 1/4	102	255	464	741	1103	1565	2139	2851	3722	4778
38	1 1/2	115	289	526	811	1252	1780	2434	3247	4242	5448
51	2	141	355	647	1036	1546	2199	3013	4022	5260	6761
64	2 1/2	168	423	773	1240	1853	2639	3619	4945	6330	8141
76	3	202	502	930	1493	2234	3186	4373	5850	7663	9863
89	3 1/2	228	575	1052	1691	2533	3616	4968	6649	8714	11222
102	4	255	642	1176	1892	2836	4051	5570	7458	9780	12599
114	4 1/2	281	708	1298	2090	3137	4481	6164	8258	10834	13962
127	5	310	782	1435	2312	3472	4965	6834	9196	12022	15500
152	6	364	920	1691	2728	4100	5870	8075	10818	14248	19763
203	8	464	1178	2169	3506	5280	7570	10443	14024	18436	23801
254	10	572	1447	2668	4318	6512	9350	12912	17355	22833	29500
303	12	671	1699	3137	5086	7675	11031	15243	20505	26993	34891
355	14	731	1851	3419	5544	8374	12042	16649	22403	29502	38148
406	16	828	2098	3877	6294	9514	13692	18941	25499	33597	43451
457	18	926	2348	4344	7059	10672	15374	21277	28860	37775	48873
508	20	1022	2592	4797	7800	11806	17009	23554	31742	41848	54161
558	22	1117	2835	5250	8539	12935	18642	25829	34817	45917	59439
609	24	1213	3078	5706	9286	14071	20291	28122	37917	50023	64771

Perdidas de calor en tuberías sin aislar, en BTU/hr ff

MANUAL PARA LA SELECCION E INSTALACION DE AISLAMIENTOS TERMICOS

TABL -A-6

174

- 174 -

**COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR DE MATERIALES DE CONSTRUCCION**

CLASE	MATERIAL	DESCRIPCION	CONDUCTIVIDAD K (para 1" de espesor)	CONDUCTANCIA C (para espesores dados)	RESISTIVIDAD 1/k (para 1" de espesor)	RESISTENCIA 1/C (para espesores dados)
Pulcizas de Aire	Interioro aire en reposo	Materiales ordinarios				
	Exterior-viento a 15 mph (milas por hora)	Flujo horizontal de calor		1.65		0.61
		Flujo de calor hacia arriba		1.95		0.51
		Flujo de calor hacia abajo		1.21		0.83
	Materiales ordinarios		6.0		0.17	
Especies de Aire	Por ambos lados de materiales ordinarios	Verticales—3.4" o más de ancho		1.10		0.91
	Por ambos lados de foil de Aluminio	Vertical—3.4" o más de ancho		0.46		2.17
Materiales para Exteriores	Tejas de Asbesto			6.0		0.17
	Tejas de Asfalto			6.5		0.15
	Revestimiento de ladrillos			2.27		0.44
	Tejado Armado	Espesor nominal de 4"		3.53		0.29
	Cartón de yeso	1.8" de espesor		2.82		0.35
	Lamina de fibra asiente	1.2 pulgadas		0.42		2.37
	Aparatos colocados de pino amarillo	25.32 pulgadas		1.28		0.78
	Revestimiento de madera laminada	5.10" de espesor		2.56		0.39
	Pizarra	1/2" pulgadas	10.00	20.00	0.10	0.15
	Revestimiento de estuco o piedra	1" de espesor	12.50	12.50	0.08	0.08
Madera, pino amarillo o abeto	25.32 pulgadas	0.80	1.02	1.25	0.98	
Materiales Aislantes	Bloques de material fibroso, cobertores o retencos	Fibra mineral animal o vegetal	0.27		3.70	
	Planchas prensadas de corcho granulado	Sin binder	0.30		3.33	
	Tablitas aislante	Fibras vegetales u de madera	0.33		3.03	
	Lana mineral o de vidrio	Fibra de roca, escoria o vidrio	0.27		3.70	
	Vermiculita	Expandida	0.48		2.08	
Materiales para Interiores	Laminado compuesto para pared	3/16" a 3/8"	0.50		2.00	
	Enlucidos de yeso		3.30		0.30	
	Laminados de yeso para pared	3/8" lisa o decorada		3.70		0.27
	Listón de yeso y enlucido	1.2" de enlucido		2.40		0.42
	Listón de metal y enlucido	1.2" de enlucido		4.40		0.23
Laminado de Madera	3/8" lisa o decorada		2.12		0.47	
Materiales para Almacén	Ladrillo común	4" de espesor	5.00	1.25	0.20	0.80
	Ladrillo fachada	4" de espesor	12.00	2.30	0.08	0.43
	Mortero de cemento					
	Bloque hueco de arcilla cocida	3"		1.28		0.78
	"	4"		1.00		1.00
	"	6"		0.94		1.37
	"	8"		0.80		1.67
	"	12"		0.40		2.50
	Concreto	con arena y grava	12.00		0.08	
	"	con escoria	4.90		0.22	
	"	con piedra pómez	2.42		0.41	
	"	con vermiculita	0.86		1.16	
	Bloque hueco de concreto	con escoria 4"		1.00		1.00
	"	con escoria 8"		0.50		1.66
	"	con escoria 12"		0.53		1.88
"	con grava 8"		1.00		1.00	
"	con grava 12"		0.50		1.67	
Bloque hueco de yeso	4 pulgadas		0.45		2.25	
Yeso colado	12.1% de ceniza de madera	1.66		0.60		
Estuco o piedra		12.50		0.08		
Loseta o terrazo	para piso	12.00		0.08		
Varios	Aluminio		14.0		0.0007	
	Vidrio	promedio	6		0.167	
	Terra		7		0.14	
	Acero	promedio	312		0.0032	

TABLA -A-7

CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE AISLANTES Y ALGUNOS  
MATERIALES DE CONSTRUCCION\*

$k = \text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F}/\text{pie})$

Material	Densidad aparente $\rho$ , lb/pie <sup>3</sup> a temperatura ambiente	°F	k
Aerogel, sílica, opacificada .....	8.5	248	0.013
Algodón en rama .....	5	86	0.024
Aluminio, hojas, 7 cavidades por 2.5 plg .....	0.2	100	0.025
Asbesto-cemento, láminas .....	120	68	0.43
Asbesto, hojas .....	55.5	124	0.096
Asbesto, pizarra .....	112	32	0.087
Asbesto .....	112	140	0.114
	29.3	-328	0.043
	29.3	32	0.090
	36	32	0.087
	36	212	0.111
	36	392	0.120
	36	752	0.129
	43.5	-328	0.090
	43.5	32	0.135
Asfalto .....	132	68	0.43
Aserrín .....	12	70	0.03
Aserrín .....			0.033-0.05
Arena, seca .....	94.6	68	0.19
Azufre, monoclínico .....		212	0.09-0.097
Rómbico .....		70	0.16
Batista, barnizada .....		100	0.09
Calcio, carbonato, natural .....	162	86	1.3
Mármol blanco .....			1.7
Yeso .....	96		0.4
Calcio, sulfato (4H <sub>2</sub> O), artificial .....	84.6	104	0.22
Yeso, artificial .....	132	167	0.43
Construcción .....	77.9	77	0.25
Calderas, incrustaciones, (R.F. 364)			
Calisa (15.3 vol. % H <sub>2</sub> O) .....	103	75	0.54
Carbón, gas .....		32-212	2.0
Carbón vegetal, escamas .....	11.9	176	0.043
	15	176	0.051
Cartón, corrugado .....			0.037
Celuloide .....	87.3	86	0.12
Cemento Portland (véase Concreto) .....		194	0.17
Ceniza de madera .....		32-212	0.041
Clinker, granulado .....		32-1 292	0.27

**CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE AISLANTES Y ALGUNOS  
MATERIALES DE CONSTRUCCION \* (Continúa)**

Subtítulos

Coque, petróleo .....	.....	212	3.4
		932	2.9
Coque, pulverizado .....	.....	32-212	0.11
Concreto, cinder .....	.....	.....	0.20
1:4 seco .....	.....	.....	0.44
Piedra .....	.....	.....	0.54
Corcho, placa .....	10	86	0.025
Corcho, molido .....	9.4	86	0.025
Regranulado .....	8.1	86	0.026
Cuero, suela .....	62.4	.....	0.092
Diatomácea, tierra, polvo, gruesa .....	20.0	100	0.036
	20.0	1 600	0.082
Fina .....	17.2	399	0.040
	17.2	1 600	0.074
Aislante de tubería .....	26.0	399	0.051
	26.0	1 600	0.088
4 partes calcinada y 1 parte cemento, vaciada y calcinada .....	61.8	399	0.16
	61.8	1 600	0.23
Dolomita .....	167	122	1.0
Ebonita .....	.....	.....	0.10
Esmalte, silicato .....	38	.....	0.5-0.75
Escoria, alto horno .....	.....	75-261	0.064
Escoria, lana .....	12	86	0.022
Fibra aislante, placa .....	14.8	70	0.028
Fibra, roja .....	80.5	68	0.27
Con adhesivos, horneada .....	.....	68-207	0.097
Fieltro, lana .....	20.6	86	0.03
Fieltro, pelo, perpendicular a las fibras .....	17	86	0.021
Gas, carbón .....	.....	32-212	2.0
Grafito, denso, comercial .....	.....	32	86.7
Pulverizado, a través 100 mallas ..	30	104	0.104
Granito .....	.....	.....	1.0-2.3
Grava .....	140	104	1.06
Hielo .....	57.5	32	1.3
Hule, duro .....	74.8	32	0.087
Para .....	.....	70	0.109
Blando .....	.....	70	0.075-0.092
Infusorios tierra (véase tierra Diatomácea) .....	.....	.....	.....
Incrustaciones (Ref. 364) .....	.....	.....	.....
Kapok .....	0.88	68	0.020
Lana, animal .....	6.9	86	0.021



CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE AISLANTES Y ALGUNOS  
MATERIALES DE CONSTRUCCION \* (Continúa)

Subtítulos			
Lana, mineral .....	9.4	86	0.0225
Lava .....			0.49
Lino .....		86	0.05
Ladrillos			
Alúmina (92-99% $Al_2O_3$ por peso) fundida .....		801	1.8
Alúmina (64-65% $Al_2O_3$ por peso) (Véase también Ladrillos, arcilla re- fractaria) .....	115 115	1 472 2 012	0.62 0.63
Ladrillo para construcción .....		68	0.4
Ladrillo al cromo (32% $Cr_2O_3$ por peso) .....	200 200 200	392 1 202 2 399	0.67 0.85 1.0
Tierra diatomácea, natural, perpen- dicular al estrato .....	27.7 27.7	399 1 600	0.051 0.077
Diatomácea, natural, paralelo al es- trato .....	27.7 27.7	399 1 600	0.081 0.106
Tierra diatomácea, moldeado y calci- cinado .....	38 38	399 1 600	0.14 0.18
Tierra diatomácea y arcilla, moldea- do y calcinado .....	42.3 42.3	399 1 600	0.14 0.19
Tierra diatomácea, alto quemado, poroso .....	37 37	392 1 832	0.13 0.34
Arcilla refractaria, Missouri .....		392 1 112 1 832 2 552	0.58 0.85 0.95 1.02
Ladrillo aislante, caolín .....	27 27	932 2 102	0.15 0.26
Ladrillo refractario aislante, caolín	19 19	392 1 400	0.050 0.113
Magnesita (86.8% $MgO$ , 6.3% $Fe_2O_3$ , 3% $CaO$ , 2.6% $SiO_2$ por peso) .....	158 158 158	399 1 202 2 192	2.2 1.6 1.1

**CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE AISLANTES Y ALGUNOS  
MATERIALES DE CONSTRUCCION\* (Continúa)**

Subtítulos

Ladrillo de carburo de silicio, recristalizado .....	129	1 112	10.7
	129	1 472	9.2
	129	1 832	8.0
	129	2 192	7.0
	129	2 552	6.3
Magnesia, pulverizada .....	49.7	117	0.35
Magnesia, carbonato ligero .....	19	70	0.04
Magnesio, óxido, comprimido .....	49.9	68	0.32
Madera, fibra cruzada .....			
Balsa .....	7.8	86	0.025-0.03
Olmo .....	51.5	59	0.12
Maple .....	44.7	122	0.11
Pino, blanco .....	34.0	59	0.087
Teca .....	40.0	59	0.10
Abeto .....	28.1	140	0.062
Madera, paralelo a la fibra .....			
Pino .....	34.4	70	0.20
Mármol .....			1.2-1.7
Mica, perpendicular a los planos .....		122	0.25
Negro de humo .....	10	104	0.038
Nieve .....	34.7	32	0.27
Piedra pómez .....		70-151	0.14
Pizarra .....		201	0.86
Papel .....			0.075
Papel tapiz, tipo aislante .....	14.8	70	0.028
Papel tapiz, cartoncillo .....	43	86	0.04
Parafina .....		32	0.14
Plásticos piroxilina .....			0.075
Porcelana .....		392	0.88
Seda .....	6.3		0.026
Barnizada .....		100	0.096
Vidrio .....			0.2-0.73
Tipo boro-silicato .....	139	86-167	0.63
Vidrio a la soda .....			0.3-0.44
Vidrio de ventana .....			0.3-0.61
Viruta de madera .....	8.8	86	0.034
Yeso, moldeado y seco .....	78	68	0.25

\* De S. Marks, "Mechanical Engineers' Handbook", McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1941.

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AGUA  
VAPOR SATURADO SECO: TABLA DE PRESION\*

Presión absoluta, lb/plg <sup>2</sup> .	Temperatura, °F	Vol. específico		Entalpía			Entropía			Energía interna		Presión absoluta, lb/plg <sup>2</sup> .
		Líquido saturado	Vapor saturado	Líquido saturado	Evaporación	Vapor saturado	Líquido saturado	Evaporación	Vapor saturado	Líquido saturado	Vapor saturado	
<i>p</i>	<i>t</i>	<i>v<sub>f</sub></i>	<i>v<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>f</sub></i>	<i>h<sub>fg</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>s<sub>f</sub></i>	<i>s<sub>fg</sub></i>	<i>s<sub>g</sub></i>	<i>u<sub>f</sub></i>	<i>u<sub>g</sub></i>	<i>p</i>
1.0	101.74	0.01614	333.6	69.70	1036.3	1106.0	0.1326	1.8456	1.9782	69.70	1044.3	1.0
2.0	126.08	0.01623	173.73	93.99	1022.2	1116.2	0.1749	1.7451	1.9200	93.98	1051.9	2.0
3.0	141.48	0.01630	118.71	109.37	1013.2	1122.6	0.2008	1.6855	1.8863	109.36	1058.7	3.0
4.0	152.97	0.01636	90.63	120.86	1006.4	1127.3	0.2198	1.6427	1.8625	120.85	1060.2	4.0
5.0	162.24	0.01640	73.52	130.13	1001.0	1131.1	0.2347	1.6094	1.8441	130.35	1063.1	5.0
6.0	170.06	0.01645	61.98	137.96	996.2	1134.2	0.2472	1.5820	1.8292	137.94	1065.4	6.0
7.0	176.85	0.01649	53.64	144.76	992.1	1136.9	0.2581	1.5586	1.8167	144.74	1067.4	7.0
8.0	182.86	0.01653	47.34	150.79	988.5	1139.3	0.2674	1.5383	1.8057	150.77	1069.2	8.0
9.0	188.28	0.01656	42.40	156.22	985.2	1141.4	0.2750	1.5203	1.7962	156.10	1070.8	9.0
10	193.21	0.01659	38.42	161.17	982.1	1143.3	0.2835	1.5041	1.7876	161.14	1072.2	10
14.696	212.00	0.01672	26.80	180.07	970.3	1150.4	0.3120	1.4440	1.7566	180.02	1077.5	14.696
15	213.03	0.01672	26.29	181.11	969.7	1150.8	0.3135	1.4415	1.7549	181.06	1077.8	15
20	227.96	0.01683	20.089	195.16	960.1	1156.3	0.3356	1.3932	1.7319	195.10	1081.9	20
25	240.07	0.01692	16.303	208.42	952.1	1160.6	0.3533	1.3606	1.7139	208.34	1085.1	25
30	250.33	0.01701	13.740	218.82	945.3	1164.1	0.3680	1.3313	1.6993	218.73	1087.8	30
35	259.28	0.01708	11.898	227.91	939.2	1167.1	0.3807	1.3063	1.6870	227.80	1090.1	35
40	267.25	0.01715	10.498	236.03	933.7	1169.7	0.3919	1.2844	1.6763	236.90	1092.0	40
45	274.44	0.01721	9.401	243.36	928.6	1172.0	0.4019	1.2650	1.6669	243.22	1093.7	45
50	281.01	0.01727	8.515	250.09	924.0	1174.1	0.4110	1.2474	1.6585	249.93	1095.3	50
55	287.07	0.01732	7.787	256.30	919.6	1175.9	0.4193	1.2316	1.6509	256.12	1096.7	55
60	292.71	0.01738	7.175	262.09	915.5	1177.6	0.4270	1.2168	1.6438	261.90	1097.9	60
65	297.97	0.01743	6.655	267.50	911.6	1179.1	0.4342	1.2032	1.6374	267.29	1099.1	65
70	302.92	0.01748	6.206	272.61	907.9	1180.6	0.4400	1.1906	1.6315	272.38	1100.2	70
75	307.60	0.01753	5.816	277.43	904.5	1181.9	0.4472	1.1787	1.6259	277.19	1101.2	75
80	312.03	0.01757	5.472	282.02	901.1	1183.1	0.4531	1.1676	1.6207	281.76	1102.1	80
85	316.25	0.01761	5.168	286.39	897.8	1184.2	0.4587	1.1571	1.6158	286.11	1102.9	85
90	320.27	0.01766	4.896	290.56	894.7	1185.3	0.4641	1.1471	1.6112	290.27	1103.7	90
95	324.12	0.01770	4.652	294.56	891.7	1186.2	0.4692	1.1376	1.6068	294.25	1104.6	95
100	327.81	0.01774	4.432	298.40	888.8	1187.2	0.4740	1.1286	1.6026	298.08	1105.2	100
110	334.77	0.01782	4.149	305.66	883.2	1188.9	0.4832	1.1117	1.5948	305.30	1106.5	110
120	341.25	0.01789	3.728	312.44	877.9	1190.4	0.4916	1.0962	1.5878	312.05	1107.6	120
130	347.32	0.01796	3.455	318.81	879.9	1191.7	0.4995	1.0817	1.5812	318.38	1108.6	130
140	353.02	0.01802	3.220	324.82	868.2	1193.0	0.5069	1.0682	1.5751	324.35	1109.6	140
150	358.42	0.01809	3.015	330.51	863.6	1194.1	0.5138	1.0556	1.5694	330.01	1110.5	150
160	363.53	0.01815	2.834	335.03	859.2	1195.1	0.5204	1.0436	1.5640	335.39	1111.2	160
170	368.41	0.01822	2.675	341.09	854.9	1196.0	0.5266	1.0324	1.5590	340.52	1111.9	170
180	373.06	0.01827	2.532	346.03	850.8	1196.9	0.5325	1.0217	1.5542	345.42	1112.5	180
190	377.51	0.01833	2.404	350.79	846.8	1197.6	0.5381	1.0116	1.5497	350.15	1113.1	190
200	381.79	0.01839	2.288	355.36	843.0	1198.4	0.5435	1.0018	1.5453	354.68	1113.7	200
250	400.95	0.01865	1.8438	376.00	825.1	1201.1	0.5675	0.9588	1.5263	375.14	1115.8	250
300	417.33	0.01890	1.5433	393.84	809.0	1202.8	0.5879	0.9225	1.5104	392.79	1117.1	300
350	431.72	0.01913	1.3260	409.69	794.2	1203.9	0.6056	0.8910	1.4966	408.45	1118.0	350
400	444.59	0.0193	1.1613	424.0	780.5	1204.5	0.6214	0.8630	1.4844	422.6	1118.5	400
450	456.28	0.0195	1.0320	437.2	767.4	1204.6	0.6356	0.8378	1.4734	435.5	1118.7	450
500	467.01	0.0197	0.9278	449.4	755.0	1204.4	0.6487	0.8147	1.4634	447.6	1118.6	500
550	476.94	0.0199	0.8424	460.8	743.1	1203.9	0.6608	0.7934	1.4542	458.8	1118.2	550
600	486.21	0.0201	0.7698	471.6	731.6	1203.2	0.6720	0.7734	1.4454	469.4	1117.7	600
650	494.90	0.0203	0.7083	481.8	720.5	1202.3	0.6826	0.7548	1.4374	479.4	1117.1	650
700	503.10	0.0205	0.6554	491.5	709.7	1201.2	0.6925	0.7371	1.4296	488.8	1116.3	700
750	510.86	0.0207	0.6092	500.8	699.2	1200.0	0.7019	0.7204	1.4223	500.0	1115.4	750
800	518.23	0.0209	0.5687	509.7	688.9	1198.6	0.7108	0.7045	1.4153	506.6	1114.4	800
850	525.26	0.0210	0.5327	518.3	678.8	1197.1	0.7194	0.6891	1.4085	515.0	1113.3	850
900	531.98	0.0212	0.5006	526.6	668.8	1195.4	0.7275	0.6744	1.4020	523.1	1112.1	900
950	538.43	0.0214	0.4717	534.6	659.1	1193.7	0.7355	0.6602	1.3957	530.9	1110.8	950
1000	544.61	0.0216	0.4456	542.4	649.4	1191.8	0.7430	0.6467	1.3897	538.4	1109.4	1000
1100	556.31	0.0220	0.4001	557.4	630.4	1187.8	0.7575	0.6205	1.3780	552.9	1106.4	1100
1200	567.22	0.0223	0.3619	571.7	611.7	1183.4	0.7711	0.5950	1.3667	566.7	1103.0	1200
1300	577.46	0.0227	0.3293	585.4	593.2	1178.6	0.7840	0.5719	1.3559	580.0	1099.4	1300
1400	587.10	0.0231	0.3012	598.7	574.7	1173.4	0.7963	0.5491	1.3454	592.7	1095.4	1400
1500	596.24	0.0235	0.2765	611.6	556.3	1167.9	0.8082	0.5269	1.3351	605.1	1091.2	1500
2000	635.82	0.0257	0.1878	671.7	463.4	1135.1	0.8610	0.4230	1.2849	662.2	1065.6	2000
2500	668.13	0.0287	0.1307	730.6	360.5	1098.1	0.9126	0.3197	1.2322	717.3	1030.6	2500
3000	695.36	0.0346	0.0858	802.5	217.8	1020.3	0.9731	0.1885	1.1615	783.4	972.7	3000
3206.2	705.40	0.0503	0.0503	902.7	0	902.7	0.9801	0	1.0580	872.9	872.9	3206.2

\* Condensada de "Thermodynamic Properties of Steam", por Joseph H. Keenan y Frederick G. Keyes. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1937.

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AGUA  
(Continúa)  
VAPOR SATURADO SECO: TABLA DE TEMPERATURA\*

Temperatura, °F t	Presión absoluta, psi p	Volumen específico			Entalpia			Entropia			Temperatura, °F t
		Líquido saturado v <sub>f</sub>	Evaporación v <sub>fg</sub>	Vapor saturado v <sub>g</sub>	Líquido saturado h <sub>f</sub>	Vapor h <sub>fg</sub>	Evaporación h <sub>g</sub>	Líquido saturado s <sub>f</sub>	Evaporación s <sub>fg</sub>	Vapor saturado s <sub>g</sub>	
32	0.08854	0.01602	3306	3306	0.00	1075.8	1075.8	0.0000	2.1877	2.1877	32
35	0.09995	0.01602	2947	2947	3.02	1074.1	1077.1	0.0061	2.1709	2.1770	35
40	0.12170	0.01602	2444	2444	8.05	1071.3	1079.3	0.0162	2.1435	2.1597	40
45	0.14752	0.01602	2036.4	2036.4	13.06	1068.4	1081.5	0.0262	2.1167	2.1429	45
50	0.17811	0.01603	1703.2	1703.2	18.07	1065.6	1083.7	0.0361	2.0903	2.1264	50
60	0.2563	0.01604	1206.6	1206.7	28.06	1059.9	1088.0	0.0555	2.0393	2.0948	60
70	0.3631	0.01606	867.8	867.9	38.04	1054.3	1092.3	0.0745	1.9902	2.0647	70
80	0.5069	0.01608	633.1	633.1	48.02	1048.6	1096.6	0.0932	1.9428	2.0360	80
90	0.6982	0.01610	468.0	468.0	57.99	1042.9	1100.9	0.1118	1.8972	2.0087	90
100	0.9492	0.01613	350.3	350.4	67.97	1037.2	1105.2	0.1298	1.8531	1.9826	100
110	1.2748	0.01617	265.3	265.4	77.94	1031.6	1109.5	0.1471	1.8106	1.9577	110
120	1.6924	0.01620	203.25	203.27	87.92	1025.8	1113.7	0.1645	1.7694	1.9339	120
130	2.2225	0.01625	157.32	157.34	97.90	1020.0	1117.9	0.1816	1.7296	1.9112	130
140	2.8886	0.01629	122.99	123.01	107.89	1014.1	1122.0	0.1984	1.6910	1.8894	140
150	3.718	0.01634	98.06	97.07	117.89	1008.2	1126.1	0.2149	1.6537	1.8685	150
160	4.741	0.01639	77.27	77.29	127.89	1002.3	1130.2	0.2311	1.6174	1.8485	160
170	5.992	0.01645	62.04	62.06	137.90	996.3	1134.2	0.2472	1.5822	1.8293	170
180	7.510	0.01651	50.21	50.23	147.92	990.2	1138.1	0.2630	1.5480	1.8109	180
190	9.339	0.01657	40.94	40.96	157.95	984.1	1142.0	0.2785	1.5147	1.7932	190
200	11.526	0.01663	33.62	33.64	167.99	977.9	1145.9	0.2939	1.4824	1.7762	200
210	14.123	0.01670	27.80	27.82	178.05	971.6	1149.7	0.3090	1.4508	1.7598	210
220	17.186	0.01677	23.13	23.15	188.13	965.2	1153.4	0.3239	1.4201	1.7440	220
230	20.780	0.01684	19.365	19.382	198.23	958.8	1157.0	0.3387	1.3901	1.7288	230
240	24.969	0.01692	16.306	16.323	208.34	952.2	1160.5	0.3531	1.3609	1.7140	240
250	29.825	0.01700	13.804	13.821	218.48	945.5	1164.0	0.3675	1.3323	1.6998	250
260	35.429	0.01709	11.746	11.763	228.64	938.7	1167.3	0.3817	1.3043	1.6860	260
270	41.853	0.01717	10.044	10.061	238.84	931.8	1170.6	0.3958	1.2769	1.6727	270
280	49.203	0.01726	8.628	8.645	249.06	924.7	1173.8	0.4096	1.2501	1.6597	280
290	57.566	0.01735	7.444	7.461	259.31	917.5	1176.9	0.4234	1.2238	1.6472	290
300	67.013	0.01745	6.449	6.466	269.59	910.1	1179.7	0.4369	1.1980	1.6350	300
310	77.68	0.01755	5.609	5.626	279.92	902.6	1182.5	0.4504	1.1727	1.6231	310
320	89.66	0.01765	4.896	4.914	290.28	894.9	1185.2	0.4637	1.1478	1.6115	320
330	103.06	0.01776	4.289	4.307	300.68	887.0	1187.7	0.4769	1.1233	1.6002	330
340	118.01	0.01787	3.770	3.788	311.13	879.0	1190.1	0.4900	1.0992	1.5891	340
350	134.63	0.01799	3.324	3.342	321.63	870.7	1192.3	0.5029	1.0754	1.5783	350
360	153.04	0.01811	2.939	2.957	332.18	862.2	1194.4	0.5158	1.0519	1.5677	360
370	173.37	0.01823	2.606	2.625	342.79	853.5	1196.3	0.5286	1.0287	1.5573	370
380	195.77	0.01836	2.317	2.335	353.45	844.6	1198.1	0.5413	1.0059	1.5471	380
390	220.37	0.01850	2.0651	2.0836	364.17	835.4	1199.6	0.5539	0.9832	1.5371	390
400	247.31	0.01864	1.8447	1.8633	374.97	826.0	1201.0	0.5664	0.9608	1.5272	400
410	276.75	0.01878	1.6512	1.6700	385.83	816.3	1202.1	0.5788	0.9386	1.5174	410
420	308.83	0.01894	1.4811	1.5000	396.77	806.3	1203.1	0.5912	0.9166	1.5078	420
430	343.72	0.01910	1.3308	1.3499	407.79	796.0	1203.8	0.6035	0.8947	1.4982	430
440	381.59	0.01926	1.1979	1.2171	418.90	785.4	1204.3	0.6158	0.8730	1.4887	440
450	422.6	0.0194	1.0799	1.0993	430.1	774.5	1204.6	0.6280	0.8513	1.4793	450
460	466.9	0.0196	0.9748	0.9944	441.4	763.2	1204.6	0.6402	0.8298	1.4700	460
470	514.7	0.0198	0.8811	0.9009	452.8	751.5	1204.3	0.6523	0.8083	1.4606	470
480	566.1	0.0200	0.7972	0.8172	464.4	739.4	1203.7	0.6645	0.7868	1.4513	480
490	621.4	0.0202	0.7221	0.7423	476.0	726.8	1202.8	0.6766	0.7653	1.4419	490
500	680.8	0.0204	0.6545	0.6749	487.8	713.9	1201.7	0.6887	0.7438	1.4325	500
520	812.4	0.0209	0.5385	0.5594	511.9	686.4	1198.2	0.7130	0.7006	1.4136	520
540	962.5	0.0215	0.4434	0.4649	536.6	656.6	1193.2	0.7374	0.6568	1.3942	540
560	1133.1	0.0221	0.3647	0.3868	562.2	624.2	1186.4	0.7621	0.6121	1.3742	560
580	1325.8	0.0228	0.2989	0.3217	588.9	588.4	1177.3	0.7872	0.5659	1.3532	580
600	1542.9	0.0236	0.2432	0.2668	617.0	548.5	1165.5	0.8131	0.5176	1.3307	600
620	1786.6	0.0247	0.1955	0.2201	646.7	503.6	1150.3	0.8398	0.4664	1.3062	620
640	2059.7	0.0260	0.1538	0.1798	678.6	452.0	1130.5	0.8679	0.4110	1.2789	640
660	2365.4	0.0278	0.1165	0.1442	714.2	390.2	1104.4	0.8987	0.3485	1.2472	660
680	2708.1	0.0305	0.0810	0.1113	757.3	309.9	1067.2	0.9351	0.2719	1.2071	680
700	3093.7	0.0369	0.0392	0.0761	823.3	172.1	995.4	0.9905	0.1484	1.1389	700
708.4	3206.2	0.0503	0	0	902.7	0	902.7	1.0580	0	1.0580	708.4

\* Condensada de "Thermodynamic Properties of Steam", por Joseph H. Keenan y Frederick G. Keyes, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1937.

**PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AGUA**  
(Continúa)  
**PROPIEDADES DEL VAPOR SOBRECALENTADO\***

Presión absoluta, lb/plg <sup>2</sup> (temperatura de saturación)	Temperatura, °F												
	300	350	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600
1 (101.74)	392.6 1150.4 2.0512	452.3 1195.8 2.1153	512.0 1241.7 2.1720	571.0 1288.3 2.2233	631.2 1335.7 2.2702	690.8 1383.8 2.3137	750.4 1432.8 2.3542	809.9 1482.7 2.3925	869.5 1533.5 2.4283	929.1 1585.2 2.4625	988.7 1637.7 2.4952	1107.8 1745.7 2.5586	1227.0 1857.5 2.6127
5 (162.24)	78.16 1148.8 1.8718	90.25 1195.0 1.9370	102.26 1241.2 1.9942	114.22 1288.0 2.0466	126.16 1335.4 2.0927	138.10 1383.6 2.1361	150.03 1432.7 2.1767	161.95 1482.6 2.2148	173.87 1533.4 2.2509	185.79 1585.1 2.2851	197.71 1637.7 2.3178	221.6 1745.7 2.3792	246.4 1857.5 2.4303
10 (193.21)	38.85 1146.0 1.7927	45.00 1193.9 1.8698	51.04 1240.6 1.9172	57.05 1287.5 1.9689	63.03 1335.1 2.0160	69.01 1383.4 2.0606	74.98 1432.5 2.1002	80.95 1482.4 2.1383	86.92 1533.1 2.1744	92.88 1584.8 2.2098	98.84 1637.5 2.2413	110.77 1745.6 2.3028	122.69 1857.3 2.3548
14.696 (212.00)	30.53 1192.8 1.8160	34.68 1239.9 1.8743	38.78 1287.1 1.9281	42.86 1334.8 1.9734	46.94 1383.2 2.0170	51.00 1432.1 2.0576	55.07 1482.1 2.0968	59.13 1533.1 2.1319	63.19 1584.8 2.1662	67.25 1637.5 2.1989	71.32 1745.5 2.2317	75.37 1857.3 2.2603	79.43 1969.1 2.3174
20 (237.96)	22.36 1191.0 1.7808	25.43 1239.2 1.8396	28.46 1286.6 1.8918	31.47 1334.4 1.9392	34.47 1383.0 1.9829	37.46 1432.1 2.0235	40.45 1482.0 2.0618	43.44 1533.0 2.0978	46.42 1584.8 2.1321	49.41 1637.5 2.1648	52.40 1745.5 2.1948	55.37 1857.3 2.2283	58.34 1969.1 2.2834
40 (292.25)	11.040 1186.8 1.6994	12.628 1236.5 1.7608	14.168 1284.8 1.8140	15.688 1333.1 1.8619	17.198 1381.9 1.9058	18.702 1431.3 1.9467	20.201 1480.8 1.9850	21.703 1530.5 2.0212	23.200 1580.4 2.0555	24.697 1630.1 2.0883	26.192 1739.8 2.1498	27.683 1849.5 2.2060	29.175 1969.2 2.2606
60 (302.71)	7.259 1181.6 1.6492	8.357 1233.6 1.7135	9.403 1283.0 1.7678	10.427 1331.8 1.8162	11.441 1380.9 1.8605	12.449 1430.5 1.9015	13.452 1480.1 1.9400	14.454 1530.0 1.9762	15.453 1580.2 2.0106	16.451 1630.4 2.0434	17.448 1739.9 2.0731	18.446 1849.6 2.1281	19.442 1969.3 2.1621
80 (312.03)	6.220 1230.7 1.6791	7.020 1281.1 1.7346	7.797 1329.5 1.7836	8.562 1379.5 1.8281	9.322 1429.7 1.8894	10.077 1479.0 1.9470	10.830 1528.7 1.9942	11.582 1578.3 2.0417	12.322 1628.0 2.0815	13.060 1727.4 2.1115	13.798 1826.6 2.1321	14.535 1926.1 2.1621	15.273 2024.8 2.2033
100 (327.81)	4.937 1227.6 1.6518	5.589 1279.1 1.7085	6.218 1328.1 1.7581	6.835 1377.9 1.8029	7.446 1428.1 1.8443	8.052 1478.5 1.8820	8.656 1528.0 1.9193	9.256 1578.1 1.9538	9.850 1628.0 1.9867	10.441 1727.4 2.0166	11.029 1826.6 2.0434	11.616 1926.1 2.0731	12.203 2024.8 2.1060
120 (341.25)	4.081 1224.4 1.6287	4.636 1277.2 1.6869	5.165 1326.1 1.7370	5.683 1375.7 1.7822	6.195 1425.1 1.8237	6.702 1474.8 1.8626	7.207 1524.8 1.8990	7.710 1575.0 1.9335	8.212 1626.0 1.9664	8.714 1727.4 1.9964	9.216 1828.6 2.0281	9.718 1931.2 2.0584	10.220 2034.8 2.0854
150 (368.02)	3.468 1221.1 1.6087	3.954 1275.2 1.6683	4.413 1326.4 1.7190	4.861 1376.8 1.7645	5.301 1427.3 1.8063	5.738 1478.1 1.8451	6.172 1528.7 1.8817	6.604 1579.6 1.9183	7.035 1630.4 1.9493	7.466 1729.9 1.9783	7.897 1831.2 2.0063	8.328 1933.6 2.0343	8.759 2036.4 2.0633
160 (363.53)	3.098 1217.6 1.5908	3.443 1273.1 1.6519	3.849 1325.0 1.7033	4.244 1375.7 1.7491	4.631 1426.0 1.7911	5.015 1477.5 1.8301	5.396 1528.7 1.8667	5.776 1579.6 1.9014	6.152 1630.4 1.9344	6.527 1729.9 1.9644	6.902 1831.2 1.9914	7.277 1933.6 2.0184	7.652 2036.4 2.0453
180 (373.06)	2.649 1214.0 1.5745	3.044 1271.0 1.6373	3.411 1323.5 1.6894	3.764 1374.7 1.7365	4.110 1425.6 1.7776	4.452 1476.8 1.8167	4.792 1528.0 1.8534	5.129 1578.1 1.8892	5.466 1628.0 1.9212	5.803 1727.4 1.9481	6.140 1826.6 1.9711	6.477 1926.1 1.9931	6.814 2024.8 2.0207
200 (381.79)	2.381 1210.3 1.5594	2.726 1268.9 1.6240	3.060 1322.1 1.6767	3.380 1373.8 1.7232	3.693 1425.8 1.7655	4.002 1476.7 1.8048	4.309 1528.0 1.8418	4.613 1578.1 1.8763	4.917 1628.0 1.9094	5.221 1727.4 1.9373	5.525 1826.6 1.9613	5.829 1926.1 1.9783	6.133 2024.8 2.0287
220 (389.86)	2.125 1206.5 1.5453	2.465 1266.7 1.6117	2.772 1320.7 1.6662	3.066 1372.0 1.7120	3.352 1424.0 1.7545	3.634 1475.5 1.7939	3.913 1527.5 1.8308	4.191 1578.0 1.8656	4.467 1628.0 1.8987	4.743 1727.4 1.9277	5.019 1826.6 1.9527	5.295 1926.1 1.9777	5.571 2024.8 1.9987
240 (397.37)	1.9276 1202.5 1.5210	2.247 1264.5 1.6003	2.533 1319.2 1.6546	2.804 1371.5 1.7017	3.068 1423.5 1.7444	3.327 1475.9 1.7839	3.584 1528.0 1.8209	3.839 1578.1 1.8558	4.093 1628.0 1.8889	4.347 1727.4 1.9180	4.597 1826.6 1.9430	4.847 1926.1 1.9680	5.097 2024.8 1.9930
260 (404.42)	1.79047 1200.0 1.5087	2.063 1317.7 1.6447	2.330 1370.4 1.6922	2.582 1423.1 1.7352	2.827 1475.2 1.7748	3.067 1527.5 1.8118	3.305 1578.0 1.8471	3.541 1628.0 1.8799	3.776 1727.4 1.9100	4.011 1826.6 1.9391	4.246 1926.1 1.9651	4.481 2024.8 1.9901	4.716 2123.6 2.0151
280 (411.05)	1.67575 1198.0 1.5796	1.9047 1280.0 1.5796	2.156 1316.2 1.6354	2.392 1369.4 1.6834	2.621 1421.5 1.7265	2.846 1473.5 1.7662	3.066 1525.8 1.8033	3.286 1578.1 1.8383	3.504 1630.4 1.8716	3.738 1729.9 1.9037	3.972 1831.2 1.9337	4.206 1933.6 1.9617	4.440 2036.4 1.9917
300 (417.33)	1.57675 1197.0 1.5701	1.7675 1257.6 1.6268	2.005 1314.7 1.6751	2.227 1368.3 1.7184	2.442 1420.6 1.7582	2.652 1472.8 1.7954	2.859 1525.2 1.8305	3.065 1578.1 1.8615	3.269 1630.4 1.8915	3.474 1729.9 1.9185	3.678 1831.2 1.9435	3.882 1933.6 1.9685	4.086 2036.4 1.9935
350 (431.72)	1.4251 1196.0 1.5481	1.57675 1251.5 1.6070	1.810 1310.9 1.6583	2.084 1365.5 1.7002	2.358 1421.1 1.7403	2.626 1473.1 1.7777	2.888 1525.2 1.8130	3.145 1578.1 1.8430	3.402 1630.4 1.8710	3.659 1729.9 1.8960	3.916 1831.2 1.9210	4.173 1933.6 1.9460	4.430 2036.4 1.9710
400 (444.59)	1.2851 1195.0 1.5281	1.4770 1245.1 1.5941	1.6508 1306.9 1.6398	1.8161 1362.7 1.6842	1.9767 1418.4 1.7247	2.134 1470.9 1.7623	2.290 1525.2 1.7977	2.445 1578.1 1.8311	2.600 1630.4 1.8581	2.755 1729.9 1.8831	2.910 1831.2 1.9081	3.065 1933.6 1.9331	3.220 2036.4 1.9581

\* Condensada de "Thermodynamic Properties of Steam", por Joseph H. Keenan y Frederick G. Keyes, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1937

**PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AGUA**  
**PROPIEDADES DEL VAPOR SOBRECALENTADO\***  
 (Continúa)

Presión absoluta, lb/plg <sup>2</sup> (tempera- tura de saturación)	Temperatura, °F.													
	500	550	600	620	640	660	680	700	800	900	1000	1200	1400	1600
v.....	1.1231	1.2155	1.3005	1.3332	1.3652	1.3967	1.4278	1.4584	1.6074	1.7516	1.8926	2.170	2.443	2.714
450 A.....	1238.4	1272.0	1302.8	1314.6	1326.2	1337.5	1348.8	1359.9	1414.3	1467.7	1521.0	1628.6	1738.7	1851.9
(456.28) z.....	1.5095	1.6437	1.7735	1.854	1.931	1.6054	1.6183	1.6250	1.6669	1.7108	1.7486	1.8177	1.8903	1.9381
v.....	0.9927	1.0800	1.1591	1.1893	1.2188	1.2478	1.2763	1.3044	1.4406	1.5715	1.6966	1.9504	2.197	2.442
500 A.....	1231.3	1266.8	1298.6	1310.7	1322.6	1334.2	1345.7	1357.0	1412.1	1466.0	1519.6	1627.7	1737.9	1851.3
(467.01) z.....	1.4919	1.6290	1.7588	1.8701	1.9810	1.5915	1.6016	1.6115	1.6571	1.6992	1.7363	1.8056	1.8683	1.9262
v.....	0.8852	0.9686	1.0431	1.0714	1.0989	1.1259	1.1523	1.1783	1.3038	1.4241	1.5414	1.7706	1.9957	2.219
550 A.....	1223.7	1261.2	1294.3	1306.8	1318.9	1330.8	1342.5	1354.0	1409.9	1464.3	1518.2	1626.9	1737.1	1850.6
(476.94) z.....	1.4761	1.6131	1.7451	1.8568	1.9680	1.5787	1.5890	1.5991	1.6452	1.6888	1.7250	1.7946	1.8575	1.9165
v.....	0.7947	0.8763	0.9463	0.9729	0.9988	1.0241	1.0489	1.0732	1.1899	1.3013	1.4096	1.6205	1.8279	2.033
600 A.....	1215.7	1255.5	1289.9	1302.7	1315.2	1327.2	1339.3	1351.1	1407.7	1462.5	1516.7	1625.5	1736.3	1850.0
(484.21) z.....	1.4586	1.5990	1.7323	1.8443	1.9558	1.5667	1.5773	1.5876	1.6343	1.6782	1.7147	1.7840	1.8476	1.9066
v.....	0.7277	0.7934	0.8477	0.8711	0.8936	0.9156	0.9370	0.9577	1.0708	1.1822	1.2924	1.5041	1.7165	1.9296
700 A.....	1243.2	1281.2	1294.3	1307.5	1320.3	1332.8	1345.0	1357.0	1403.2	1459.3	1515.9	1623.9	1734.8	1846.3
(503.10) z.....	1.4722	1.6084	1.7421	1.8533	1.9649	1.5559	1.5665	1.5771	1.6237	1.6673	1.6963	1.7666	1.8299	1.8881
v.....	0.6184	0.6779	0.7006	0.7223	0.7433	0.7635	0.7833	0.8028	0.8763	0.9470	1.0159	1.1244	1.2324	1.3400
800 A.....	1229.6	1270.7	1285.4	1299.4	1312.9	1325.9	1338.6	1351.0	1405.4	1460.1	1515.0	1623.1	1732.5	1842.5
(518.23) z.....	1.4467	1.4863	1.5000	1.5129	1.5250	1.5366	1.5476	1.5579	1.6047	1.6490	1.6901	1.7510	1.8146	1.8729
v.....	0.5294	0.5873	0.6089	0.6294	0.6491	0.6680	0.6863	0.7046	0.8096	0.9262	1.0414	1.2124	1.3509	1.4869
900 A.....	1215.0	1260.1	1275.9	1290.9	1305.5	1319.8	1333.1	1346.3	1401.8	1457.8	1514.2	1622.9	1733.6	1846.3
(531.98) z.....	1.4216	1.4633	1.4800	1.4938	1.5066	1.5187	1.5303	1.5414	1.6257	1.6656	1.6931	1.8009	1.8646	1.9245
v.....	0.4533	0.5140	0.5350	0.5546	0.5733	0.5912	0.6084	0.6250	0.7604	0.8294	0.9015	1.0393	1.1546	1.2466
1000 A.....	1198.3	1248.8	1265.9	1281.9	1297.0	1311.4	1325.3	1338.9	1404.2	1460.5	1517.7	1626.9	1738.0	1848.0
(544.61) z.....	1.3961	1.4450	1.4610	1.4757	1.4893	1.5021	1.5141	1.5257	1.6311	1.6525	1.6724	1.7886	1.8474	1.9040
v.....	0.4532	0.4738	0.4929	0.5110	0.5281	0.5445	0.5601	0.5750	0.6866	0.7503	0.8170	0.9885	1.1031	1.1631
1100 A.....	1236.7	1255.3	1272.4	1288.5	1303.7	1318.3	1332.4	1346.1	1402.5	1459.3	1516.2	1625.2	1736.3	1846.3
(556.81) z.....	1.4261	1.4425	1.4583	1.4728	1.4862	1.4989	1.5116	1.5243	1.5995	1.6405	1.6730	1.7776	1.8383	1.8966
v.....	0.4016	0.4222	0.4410	0.4586	0.4752	0.4909	0.5067	0.5225	0.6250	0.6843	0.7467	0.9046	1.0101	1.0666
1200 A.....	1223.5	1243.9	1262.4	1279.6	1295.7	1311.0	1326.3	1341.6	1397.9	1454.7	1511.9	1621.3	1732.9	1842.5
(567.22) z.....	1.4052	1.4243	1.4413	1.4568	1.4710	1.4843	1.4969	1.5093	1.5879	1.6293	1.6705	1.7672	1.8268	1.8836
v.....	0.3174	0.3390	0.3580	0.3753	0.3912	0.4062	0.4214	0.4368	0.5210	0.5905	0.6789	0.7727	0.8640	0.9140
1400 A.....	1193.0	1218.4	1240.4	1260.3	1278.5	1295.5	1312.9	1330.6	1387.3	1444.5	1502.2	1611.9	1724.8	1836.0
(587.10) z.....	1.3630	1.3877	1.4079	1.4258	1.4419	1.4567	1.4717	1.4866	1.6093	1.6303	1.6506	1.7489	1.8063	1.8616
v.....	0.2733	0.2936	0.3112	0.3271	0.3417	0.3564	0.3711	0.3858	0.4553	0.5027	0.5606	0.6738	0.7545	0.8145
1600 A.....	1187.8	1216.2	1238.7	1259.6	1278.7	1296.4	1313.8	1331.2	1388.4	1445.8	1503.8	1614.6	1728.5	1837.5
(604.90) z.....	1.3480	1.3741	1.3952	1.4137	1.4303	1.4464	1.4621	1.4776	1.5914	1.6106	1.6296	1.7328	1.7926	1.8496
v.....	0.2407	0.2597	0.2760	0.2907	0.3052	0.3196	0.3340	0.3484	0.4210	0.4710	0.5210	0.6068	0.6663	0.7166
1800 A.....	1185.1	1214.0	1238.5	1260.3	1278.5	1296.3	1314.2	1332.1	1390.0	1448.0	1506.0	1617.3	1733.0	1842.0
(621.03) z.....	1.3377	1.3638	1.3855	1.4044	1.4216	1.4388	1.4561	1.4734	1.5871	1.6063	1.6250	1.7185	1.7786	1.8366
v.....	0.1936	0.2161	0.2337	0.2489	0.2637	0.2784	0.2932	0.3080	0.3532	0.3935	0.4368	0.5362	0.6011	0.6566
2000 A.....	1145.6	1184.9	1214.8	1240.0	1263.0	1285.5	1307.5	1329.0	1387.5	1446.5	1506.0	1617.1	1732.5	1842.5
(636.82) z.....	1.2945	1.3300	1.3564	1.3783	1.4016	1.4250	1.4484	1.4718	1.5871	1.6063	1.6250	1.7185	1.7786	1.8366
v.....	0.1484	0.1686	0.2294	0.2710	0.3061	0.3368	0.3678	0.3988	0.4440	0.4840	0.5240	0.6244	0.6784	0.7284
2500 A.....	1132.3	1176.8	1303.6	1387.8	1458.4	1585.3	1708.1	1826.2	1944.3	2062.4	2180.5	2298.6	2416.7	2534.8
(668.13) z.....	1.2087	1.3073	1.4127	1.4772	1.5273	1.6088	1.6775	1.7389	1.8571	1.9163	2.0345	2.1527	2.2709	2.3891
v.....	0.0984	0.1700	0.2159	0.2476	0.3018	0.3560	0.4102	0.4644	0.5186	0.5728	0.6270	0.7274	0.7816	0.8358
3000 A.....	1060.7	1267.2	1365.0	1441.8	1517.4	1593.0	1668.6	1744.2	1819.8	1895.4	1971.0	2046.6	2122.2	2197.8
(696.36) z.....	1.1906	1.3690	1.4439	1.4984	1.5529	1.6074	1.6619	1.7164	1.7709	1.8254	1.8799	1.9344	1.9889	2.0434
v.....	0.1583	0.1981	0.2288	0.2606	0.2924	0.3242	0.3560	0.3878	0.4320	0.4762	0.5204	0.6208	0.6750	0.7292
3206.2 A.....	1250.5	1355.2	1434.7	1569.8	1694.6	1819.4	1944.2	2069.0	2193.8	2318.6	2443.4	2568.2	2693.0	2817.8
(706.40) z.....	1.3508	1.4309	1.4874	1.5439	1.5994	1.6549	1.7104	1.7659	1.8214	1.8769	1.9324	1.9879	2.0434	2.0989
v.....	0.0306	0.1364	0.1782	0.2058	0.2540	0.2977	0.3414	0.3851	0.4288	0.4725	0.5162	0.6166	0.6710	0.7254
3500 A.....	780.5	1224.9	1340.7	1424.5	1563.3	1689.9	1816.5	1943.1	2069.7	2196.3	2322.9	2449.5	2576.1	2702.7
z.....	0.9515	1.3241	1.4127	1.4723	1.5615	1.6336	1.6968	1.7600	1.8232	1.8864	1.9496	2.0128	2.0760	2.1392
v.....	0.0287	0.1062	0.1462	0.1743	0.2192	0.2581	0.2943	0.3305	0.3667	0.4029	0.4391	0.5395	0.5939	0.6483
4000 A.....	763.8	1174.8	1314.4	1406.8	1552.1	1681.7	1811.3	1940.9	2070.5	2200.1	2329.7	2459.3	2588.9	2718.5
z.....	0.9347	1.2757	1.3827	1.4482	1.5417	1.6154	1.6791	1.7428	1.8065	1.8702	1.9339	1.9976	2.0613	2.1250
v.....	0.0276	0.0798	0.1226	0.1500	0.1917	0.2273	0.2629	0.2985	0.3341	0.3697	0.4053	0.5057	0.5599	0.6141
4500 A.....	753.5	1113.9	1286.5	1388.8	1540.8	1673.5	1806.2	1938.9	2071.6	2204.3	2337.0	2469.7	2602.4	2735.1
z.....	0.9236	1.2204	1.3529	1.4253	1.5253	1.5990	1.6627	1.7264	1.7901	1.8538	1.9175	1.9812	1.9449	2.0086
v.....	0.0268	0.0503	0.0360	0.1303	0.1696	0.2027	0.2329	0.2631	0.2933	0.3235	0.3537	0.4541	0.5083	0.5625
5000 A.....	746.4	1047.1	1256.5	1369.5	1529.5	1665.3	1791.1	1916.9	2042.7	2168.5	2294.3	2420.1	2545.9	2671.7
z.....	0.9152	1.1622	1.3231	1.4034	1.5066	1.5839	1.6494	1.7149	1.7804	1.8459	1.9114	1.9769	1.9424	1.9979
v.....	0.0262	0.0463	0.0830	0.1143	0.1516	0.1825	0.2166	0.2487	0.2808	0.3129	0.3450	0.4454	0.5006	0.5558
5500 A.....	741.3	985.0	1224.1	1349.3	1518.2	1657.0	1785.8	1914.6	2043.4	2172.2	2301.0	2429.8	2558.6	

LAS TABLAS QUE SE ENCUENTRAN EN ESTE MANUAL  
TIENEN LAS SIGUIENTES REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

TABLA	TITULO	REFERENCIA
T-3-1	Espesores recomendados para tuberías y bloques de tierra -- diatomacea.	21
T-3-2	Espesores recomendados para aislamientos preformados de fibra de vidrio.	16
T-3-3	Espesores recomendados para aislamiento de fibra de vidrio - para tuberías frías - para una temperatura de 27°C (80°F) y una humedad relativa de 80%	16
T-3-4	Espesores recomendados para aislamiento de fibra de vidrio - para tuberías frías - para temperatura de 27°C (80°F) y una humedad relativa de 85%	16
T-3-5	Espesores recomendados para aislamiento de fibra de vidrio - para tuberías frías - para una temperatura de 27°C (80°F) y una humedad relativa de 90%	16

TABLA	TITULO	REFERENCIA
T-3-6	Espesores recomenda- dos para equipos.	16
T-3-7	Espesores recomenda- dos para tubería	16
T-3-8	Espesores recomenda- dos para fibra de vi- drio rígida.	16
T-3-9	Dimensiones y espeso- res de fibra de vi- drio rígida y semirí- gida.	16
T-3-10	Espesor recomendado- para tuberías de pro- ceso aisladas con si- licatos de calcio.	16
T-3-11	Espesores recomenda- dos para aislamiento de silicato de cal- cio para líneas de - proceso en termoeléct- ricas.	16
T-3-12	Espesores recomenda- dos para bloques de- silicato de calcio-- anhidro.	16
T-3-13	Espesores recomenda- dos para poliestire- no (para una tempera- tura ambiente de 32° C y 80% de humedad- relativa.	18
7-3-14	Espesores recomenda- dos para reformados de poliestireno (pa- ra una temperatura - ambiente de 32°C y - 85% de humedad rela- tiva.	18



TABLA	TITULO	REFERENCIA
T-3-15	Espesores recomendados para preformados de poliestireno (para una temperatura ambiente de 32°C y - 85% de humedad relativa.)	18
T-4-1	Guía de acabados para aislamientos	6
T-4-2	Guía para acabados para aislamientos.	6
T-4-3	Guía para acabados para aislamientos.	6

LAS GRAFICAS QUE SE ENCUENTRAN EN ESTE MANUAL  
TIENEN LAS SIGUIENTES REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

GRAFICA	TITULO	REFERENCIA
G-3-1	Conductividad térmica de tierra diatomacea y Asbesto.	21
G-3-2	Conductividad térmica de la Lana Mineral.	17
G-3-3	Conductividad térmica para cemento aislante de Lana Mineral.	17
G-3-4	Conductividad térmica de preformados de fibra de vidrio.	16
G-3-5	Conductividad térmica de la Fibra de vidrio Blanca.	16
G-3-6	Conductividad térmica de colchonetas armadas de fibra de vidrio blanca.	16
G-3-7	Conductividad térmica de la fibra de vidrio flexible.	16
G-3-8	Conductividad térmica de la fibra de vidrio semirígida.	16
G-3-9	Conductividad térmica de la fibra de vidrio rígida.	16
G-3-10	Conductividad térmica del silicato de calcio.	16
G-3-11	Conductividad térmica del poliestireno.	18

## BIBLIOGRAFIA

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- CONTROL OF INDUSTRIAL HEAT AND POWER LOSSES  
Industrial mineral Wool Institute (Manual).  
441 Lexington. New York N.Y.U.S.A.
- 2.- MANUAL DE AISLACION TERMICA  
Ing. Antonio Ernitz.  
Librería y Editorial Alsiana  
Peru 127 Buenos Aires 1955.
- 3.- CAREY.- INDUSTRIAL INSULATION  
The Philip Carey MTG Company, Lock Land, Cincinnati  
15 Chic.
- 4.- MANUAL DE ENTRENAMIENTO ( División Aislamientos).  
Vidro-Fibras, S.A.  
México, D.F. 1972.
- 5.- INDUSTRIAL THERMAL INSULATION  
Allec C. Wilson.  
Mc. Graw - Hill Book Company inc. New York U.S.A.  
1959
- 6.- ESPECIFICACIONES DE INSTALACION  
Vidro Fibras, S.A.  
México, D.F. 1971
- 7.- HIGH AND LOW TEMPERATURE INSULATIONS.  
From -120°F to 1800°F.  
A.I.A. File No. 37-D.  
Owens - Corning Fiberglass Corp. NEW YORK U.S.A.

- 8.- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.  
Donald Q. Kern.  
C.E.C.S.A. 3a. Edición  
México, 1970
- 9.- APPLIED HEAT TRANSMISION.  
Herman Julius Stoever.  
Mc. Graw - Hill Book Company Tac.  
New York and London 1941
- 10.- CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK  
John H. 4a. Edition.  
Mc. Graw - Hill Chemical Engineering series.
- 11.- MANUAL DE AISLAMIENTOS PARA CUARTOS FRIOS  
Vidro Fibras, S.A.  
México, D.F. 1965
- 12.- INSULATION - REFRACTORIES  
Johns Manville Sales Corporation.  
Industrial Products División Insulation Department.  
New York N.Y. U.S.A. 1944
- 13.- CRITERIAL FOR INSTALLING INSULATION SISTEMES IN PE-  
TROCHEMICAL PLANTS.  
w.c. Turner, consultant, South Charleston, W.Va.  
PROTECTION OF THERMAL INSULATION  
J.B. Marks and K.D. Holton Childers Products Co.,  
Inc., Cleveland, Chic.  
Chemical Enginnering Progress (Vol. 70,H°8) 1974

- 14.- PROPIEDADES DE AISLANTES TERMICOS DE APLICACION INDUSTRIAL.  
Antonio Gutiérrez Ochoa.  
Tesis Profesional  
Escuela Nacional de Ciencias Químicas  
México 1966
- 15.- AISLAMIENTO TERMICO  
José Canut Moya  
Tesis Profesional  
Escuela Nacional de Ingeniería.  
México 1959
- 16.- AISLAMIENTOS TERMICOS Y ACUSTICOS  
Catálogos  
Vitro Fibras, S.A.  
México 1973
- 17.- CATALOGOS DE PRODUCTOS  
M.A.S.A.  
México 1965
- 18.- CATALOGOS DE PRODUCTOS  
BASF MEXICANA, S.A.  
México, 1969
- 19.- CATALOGOS DE PRODUCTOS  
Productos de Estireno, S.A.  
México 1971
- 20.- THURANE  
Catálogos  
Proquimia, S.A.