

14
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
" ZARAGOZA "**

**GUIA PARA LA SELECCION DE SISTEMAS
TERMOAISLANTES**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
LUIS GUERRERO SANCHEZ

ASESOR: I.O. ANDRES AGUINO CANCHOLA



MEXICO, D. F.

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES *ZARAGOZA*
DIRECCION DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OF/082/005/97

C. Luis Guerrero Sánchez
P r e s e n t e .

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado para el Examen Profesional, le comunico que la Jefatura a mi cargo ha propuesto la siguiente designación:

Presidente: I.Q. Magín Enrique Juárez Villar

Vocal: I.Q. Andrés Aquino Canchola

Secretario: I.Q. Cornelio Hernández Pulido

Suplente: Biol. Juana María de la Paz López

Suplente: I.B.Q. Lorenzo Rojas Hernández

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., 28 de Febrero 1997

Ing. Magín-Enrique Juárez Villar
Director de la Carrera

A mi madre Margarita con cariño y respeto, por su confianza y apoyo para lograr mi desarrollo profesional.

A mi esposa Rosario con Mucho cariño por su gran apoyo y dedicación para lograr la culminación de mi desarrollo profesional.

A mis hermanos Fidel, Josefina, Andrés, Teresa, Ma del Carmen, Margarita, Salvador y Jesús, con cariño y respeto por la paciencia y apoyo que siempre me brindaron.

En memoria de mi hermano Vicente por todo su apoyo.
(Q.E.P.D.)

A mis hijos Ana Luisa y Victor con mucho cariño y que sirva de motivación en su futuro.

Resumen.

El presente trabajo tiene la finalidad de plantear los lineamientos generales que se establecen para la selección del sistema termoaislante en tuberías y equipos de plantas industriales, con el objetivo de ahorrar energía.

- En el capítulo 1. Se definen los objetivos generales del presente trabajo.
- En el capítulo 2. Se explican algunas de las principales normas que se tienen que aplicar en la selección de un material termoaislante.
- En el capítulo 3. Se describen el proceso de fabricación, características físicas y químicas, tipos y presentaciones de diversos materiales aislantes.
- En el capítulo 4. Se explican los factores que afectan el comportamiento de la conductividad térmica
- En el capítulo 5. Se describe un método práctico para determinar el tipo de material aislante que proporciona el mayor ahorro de energía, así como la selección del aislante en función de sus propiedades y características
- En el capítulo 6. Se explican las reglas que se deben tomar en cuenta para proceder a la instalación y protección de un aislamiento térmico, así como diversos diagramas de instalación en tuberías y equipos
- En el capítulo 7. Se hace referencia a las conclusiones generales del trabajo, donde se mencionan, los puntos más importantes que se deben tomar en cuenta para la selección de un material aislante térmico
- En el capítulo 8. Se indican las referencias bibliográficas que apoyan este trabajo.

INDICE

Cap. 1	Introducción	1
Cap. 2	Normas para la selección de materiales aislantes y de acabado	7
Cap. 3	Materiales aislantes	15
	3.1 Fibra de Vidrio.....	17
	3.2 Silicato de Calcio.....	31
	3.3 Perlita Expandida.....	35
	3.4 Lana Mineral.....	40
	3.5 Espuma de Poliestireno.....	51
	3.6 Espuma de Poliuretano.....	60
Cap. 4	Factores que afectan la conductividad térmica	69
Cap. 5	Método práctico para determinar el ahorro de energía	81
Cap. 6	Reglas y diagramas en la instalación de materiales termoaislantes ..	99
Cap. 7	Conclusiones	127
Cap. 8	Anexo	131
Cap. 9	Bibliografía	143

Capítulo 1.

Introducción

1. Introducción.

En la industria en general, existen procesos que operan a temperaturas diferentes a la ambiente, obtenidas por lo general en forma artificial, lo que significa invertir, no sólo para llegar a la temperatura deseada sino para mantenerla

En la actualidad esta inversión resulta ser día con día más significativa en la inversión y costos totales de una planta, como consecuencia de la alza del costo de los combustibles y la no muy lejana desaparición de estos recursos no renovables

Existen plantas que tienen como mínimo un equipo con su respectiva tubería, las cuales al operar a temperaturas diferentes a la ambiente existirá por naturaleza el intercambio de calor entre el medio ambiente y el sistema. éste fenómeno natural, ocasiona una mayor inversión en la generación de energía causando de inmediato mayores costos operativos.

Haciendo conciencia de lo anterior, es necesario buscar la manera en que este intercambio o fuga se reduzca al mínimo posible

Así también el control de calidad de un producto depende en muchas ocasiones del control de la temperatura en el proceso

La seguridad del personal es otro de los aspectos a cuidar en una planta, ya que es importante eliminar los peligros por zonas calientes

Una de las soluciones a la problemática anterior es la de realizar un estudio de como un material denominado aislamiento térmico, ayudará a disminuir al máximo posible la fuga de calor, controlar la temperatura y la protección de personal en un proceso

Los procesos industriales requieren de temperaturas diferentes a las del ambiente, obtenidas en forma artificial. El lograr dichas condiciones artificiales de temperatura presupone un costo

Una vez alcanzada la temperatura deseada, es muy importante conservarla el mayor tiempo posible, lo cual se logra mediante los materiales que conocemos como aislamientos

Los equipos que están siendo calentados simultáneamente están perdiendo parte del calor que se les está suministrando, cediéndolo al ambiente que los rodea y que está a una temperatura menor. Por medio de materiales aislantes,

las pérdidas de calor por unidad de tiempo serán mucho menores, pues el aislamiento reduce al mínimo la fuga de calor.

En el ambiente frío el caso es similar, solo que éste tenderá a ganar calor del ambiente, en vez de perderlo.

Volviendo nuevamente al caso que se cita, o sea el equipo una vez aislado, seguirá necesitando suministro de calor, pero en cantidad mucho menor por unidad de tiempo. Al necesitar menos calor, se requerirá quemar menos combustibles para producirlo, y esto significa también menor gasto de operación por hora.

Es una ley termodinámica el que las temperaturas tienden a igualarse con la del ambiente y siempre cuesta dinero operar un equipo para mantener algo caliente o frío.

El aislamiento es un auxiliar valioso en conservar ese algo caliente o frío, en los diversos procesos industriales en los cuales el aislamiento de las instalaciones calientes o frías evita una verdadera fuga de dinero.

En adición a lo anterior, existen otras ventajas que se logran con el aislamiento, tales como protección del personal, comodidad, uniformidad en el proceso y en la calidad del producto que se fabrica.

En la construcción.

El hombre siempre está en pugna con la naturaleza para tratar de obtener su comodidad para sobrevivir.

Esto lo conduce a permanecer la mayor parte de su vida bajo techo, tratando siempre de rodearse de la máxima comodidad al mínimo costo.

Dependiendo del clima de una región, mientras más extremoso sea éste, más difícil será el lograr la comodidad en las construcciones, teniendo que valerse de equipo, por lo general para lograr calor o frío en el interior de las mismas.

Al operar estos equipos, se pierde el calor o el frío fácilmente. Al tratar de conservar las temperaturas que se desean se usan materiales aislantes que impidan la disipación de calor o frío en los recintos y que desde luego originen un ahorro en el costo de operación.

La inversión inicial en los aislamientos es ampliamente amortizada en muy poco tiempo por el ahorro en la operación de los citados equipos.

Un material termoaislante es todo aquel que nos evita la pérdida o ganancia de calor de un sistema determinado, por que está compuesto de materiales básicos con un coeficiente de transmisión de calor bajo, conformados de tal forma, que queden atrapadas celidillas de aire en reposo, rodeadas de paredes sólidas.

Basándose en esta definición, un aislamiento térmico nos va a representar primeramente economía, por que al evitar la transmisión de calor de un sistema, evitaremos el paso de energía de un cuerpo a otro, en virtud de una diferencia de temperatura existente entre los mismos. Este ahorro de energía calorífica repercutirá en nuestro sistema, en un ahorro considerable de energéticos, por que la energía proporcionada por nuestro combustible, no va a ser liberada.

Un aislamiento térmico representa una fuerte inversión, que se verá recuperada en un tiempo bastante corto, con el ahorro de energéticos que se obtendrá y con la mejor eficiencia y funcionamiento de nuestros equipos y maquinaria.

También un aislamiento térmico nos va a representar eficiencia de nuestro equipo, por que al evitar pérdidas o ganancias de calor, evitaremos que los motores de nuestro equipo trabajen a una capacidad mayor a la de operación. Esto lo podemos observar fácilmente en un sistema de refrigeración, en el cual nos interesa conservar una determinada temperatura, si nuestro sistema no está aislado térmicamente vamos a tener ganancia de calor y para contrarrestar este efecto, nuestro compresor tendrá que estar trabajando continuamente para poder mantener la temperatura que nos interese. En cambio, si aislamos térmicamente nuestro sistema, evitaremos la ganancia de calor y el trabajo continuo o forzado de nuestra maquinaria disminuirá sensiblemente.

Finalmente, un aislamiento térmico nos va a representar protección para el personal que pudiera entrar en contacto inadvertidamente sobre aquellas superficies calientes. Cuando se requiera este tipo de aislamiento térmico, se deberán recubrir las superficies hasta una altura de 2 m. arriba del nivel normal del piso, en pasillos o en áreas en las que el personal deba permanecer por largo tiempo; también aquellos equipos y tuberías que se localicen hasta unos 60 cm. de cualquier extremo de las plataformas de operación.

CAPITULO 2.

NORMAS PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES AISLANTES Y DE ACABADO.

2. Normas para la Selección de Materiales Aislantes y de Acabado.

En general un aislamiento es comprado y usado con un objetivo, el de ahorrar energía, pero existen diversos materiales que pueden cumplir con dicho objetivo, unos por un tiempo prolongado y otros por un tiempo relativamente corto, otros sufren degradaciones graduales por que no son seleccionados adecuadamente, otros son demasiado caros para las condiciones de operación del sistema, etc. Por lo que en esta parte daremos algunas recomendaciones en la selección del aislamiento térmico, con el objetivo de encontrar el más adecuado:

Entre las principales características que se deben tomar en la selección del aislamiento térmico están las siguientes:

Temperatura de operación.

La temperatura de operación del equipo o tuberías ya que los materiales aislantes tienen sus limitaciones en cuanto al rango de temperatura en el cual son aplicables con un alto grado de eficiencia, o simplemente no son operables; esto se debe a la composición de los materiales básicos con los que están compuestos

Espesor del aislante.

El espesor seleccionado de un material aislante para la buena operación de un equipo o tubería, es otro factor íntimamente ligado con la temperatura de operación del sistema. Se debe tener presente que para la selección del tipo de aislamiento y cálculo del espesor del mismo, debe tomarse como base la temperatura máxima de operación y no la de diseño del equipo.

La buena selección del espesor de un material aislante es de primordial importancia, por que a través de él se puede lograr buena eficiencia térmica en una tubería o equipo y las pérdidas de calor pueden aumentar o disminuir. Muchas veces es necesario realizar una mayor inversión aumentando el espesor del aislamiento sobre el recomendado, con tal de obtener mejor eficiencia térmica y menores pérdidas de calor.

Medio ambiente.

El medio ambiente, constituye un factor muy importante que debemos conocer y tener presente en la selección de un material aislante y de acabado.

Abuso mecánico.

Aunque está diseñado para resistir el paso del calor y no el abuso mecánico, este deberá tener cierta resistencia a los descuidos comunes en una planta. Si este no resistiera lo suficiente entonces se deberá tomar en cuenta la colocación de una protección mecánica, con el objetivo de aumentar la vida útil del aislante.

Baja conductividad térmica.

Esta es una de las propiedades más importantes, que deben ser analizadas en la selección del aislamiento, ya que de esta dependerá el mayor y menor ahorro de energía en el sistema. A medida que un aislamiento tiene una menor conductividad térmica será mejor aislante térmico, y a la inversa si tiene un mayor valor de conductividad térmica será un mal aislante.

Resistir altas temperaturas sin deteriorarse.

El aislamiento seleccionado deberá funcionar en el rango de temperaturas recomendado sin sufrir alteraciones en sus propiedades aislantes, de lo contrario deberá ser cambiado por otro material aislante que cumpla con las condiciones de operación.

Resistir la vibración.

Cuando un material aislante sufre asentamientos de material, está ocasionando huecos o lugares compactos que favorecen la transferencia de calor, esto regularmente sucede con materiales fibrosos de fibras cortas y diámetros grandes, por lo que al colocar un aislamiento de este tipo se deberá inspeccionar continuamente para detectar estos puntos a tiempo.

Ligero.

Un material aislante entre más ligero sea favorecerá una fácil y rápida instalación, lo que reducirá en una menor inversión en la instalación del sistema termoaislante.

Inorgánico.

El material aislante seleccionado no deberá ser alimento ni nido de animales, ya que estos lo destruirían causando daños al sistema

Ausencia de envejecimiento.

Por lo regular las espumas plásticas que se utilizan como aislamiento al paso del tiempo sufren cambios en su forma física lo que ocasiona alteraciones en su valor de conductividad térmica y por consecuencia en la pérdida de calor, por lo que se deberá tener cuidado en este punto para la selección del aislante

No corrosivo.

El material aislante deberá estar fabricado con materiales que no ataquen al equipo o tubería aislada, por que disminuiría el tiempo de vida útil de los mismos.

Dimensionalmente estable.

El aislamiento no deberá cambiar en sus dimensiones por la acción de las condiciones ambientales o las del proceso, por que de ser así habrá fugas de calor por los huecos u orificios resultantes.

Incombustible

Por máxima seguridad en plantas es recomendable seleccionar materiales aislantes incombustibles o por lo menos con retardantes a la flama, ya que esto nos ayudará en la seguridad de la planta y en reducir el costo de la prima contra incendio.

Fácil de Instalar

Dentro de la gran variedad de materiales aislantes en el mercado deberemos seleccionar aquel que resulte más fácil de instalar, ya que esta propiedad ayudará en ahorrar tiempo y dinero

Un buen material aislante, además de una alta resistencia a la transmisión de calor, debe tener otras características, relacionadas con la aplicación que se le dé. En algunas aplicaciones, como el aislamiento de hornos, el material debe ser capaz de resistir altas temperaturas sin deteriorarse. En el aislamiento de aviones son cualidades esenciales cierta robustez estructural, capacidad de resistir la vibración y poco peso. Los materiales aislantes deben ser inodoros y no absorber olores. Deben ser resistentes a la putrefacción o desintegración y no servir de alimento a roedores e insectos. Esto es particularmente cierto para el aislamiento de edificios o almacenes de alimento. Todo el material aislador debe ser resistente a la humedad o estar protegido contra la misma.

Hay otros medios sumamente corrosivos, para lo cual es necesario colocar sobre el equipo o tubería algún material anticorrosivo, para protección tanto del equipo, como del aislamiento térmico. También es frecuente encontrar medios sulfurosos, salitrosos, alcalinos, húmedos, secos, etc. que hay que combatir, colocando tanto el material aislante como el de acabado, esto se puede lograr conociendo las propiedades físicas y químicas de los materiales.

En la selección de un material aislante y sus acabados, es importante conocer si estos se van a colocar a la intemperie o bajo cubierta. En el primer caso, no se puede dejar el material al descubierto, se debe proteger contra las inclemencias del medio ambiente con un impermeabilizante, o si el caso lo permite con lámina galvanizada o de aluminio, o con cementos plásticos. Si el sistema por aislar está bajo techo y no hay problemas de deterioro por causas humanas o sustancias perjudiciales, se puede dejar el material aislante sin ningún acabado, procurando dejar un sello perfecto en sus juntas, uniones o traslapes, para evitar pérdidas de calor sin embargo se debe procurar proteger en parte el material, para aumentar la vida útil del aislamiento térmico.

El abuso mecánico es un factor primordial que se debe tener presente en la selección del aislamiento térmico y materiales de acabado. Con frecuencia se encontrarán casos donde se ha tendido una red de tuberías a nivel de piso, en áreas de trabajo pesado, en las que los materiales sufrirán impactos, esfuerzos, golpes, presiones constantes, etc. El problema hay que solucionarlo, para lo cual es necesario seleccionar un material aislante y de acabado, adecuado a la necesidad imperante, conociendo su resistencia a la tensión y compresión.

Por lo general el material aislante al estar constituido por celdillas de aire en reposo, rodeado de una estructura celular sólida, es un material delicado, y si no recibe el trato o protección adecuadas se irá perdiendo su configuración y por lo tanto sus propiedades térmicas. Por ejemplo, si se ha de seleccionar un placa aislante, de una determinada densidad y espesor y es sometida a cargas que actúen comprimiendo el aislamiento térmico, nos encontraremos que el material seleccionado perdió todas sus propiedades de trabajo para el cual fue elegido; ya no tendrá el espesor original y consecuentemente su densidad se ha transformado, así como su eficiencia y pérdidas de calor se verán modificadas. Es por esto que se deberá tener mucho cuidado en la selección del aislamiento térmico y de sus materiales accesorios y de acabado.

CAPITULO 3.

MATERIALES AISLANTES.

3. Materiales Aislantes

3.1 La Fibra de Vidrio como aislante térmico.

La fibra de vidrio constituye uno de los mejores aislantes térmicos conocidos debido precisamente a su naturaleza fibrosa que causa que se formen pequeñas celdillas entre las fibras, conteniendo aire en reposo, el cual origina una baja conductividad térmica

Fabricación de Fibra de Vidrio

Proceso de manufactura (diag. 3 1). la fibra de vidrio se fabrica a partir de una mezcla de diversas arenas de origen natural, las cuales son:

- Arena sílice
- Ceniza de soda
- Feldespató
- Caliza
- Cullet
- Dolomita
- Sulfato de sodio

Estas son dosificadas en una formulación específica para formar las llamadas cargas.

Estas cargas se alimentan al horno de fundición por la parte posterior, el cual funciona a una temperatura promedio de 1300 °C, suficiente para fundir la mezcla de arenas.

Estas arenas fundidas se alimentan a los "chorreadores", donde localizamos los "fibracers" y los "spinners". Los que se encuentran en rotación a gran velocidad, por lo que al chorrear el vidrio sale debido a la fuerza centrífuga por los pequeños orificios, formandose la fibra de vidrio, posteriormente encontramos el "Hud" que aplica los agentes de acoplamiento que pueden ser: aceites lubricantes, resina fenólica, resina melamina, urea.

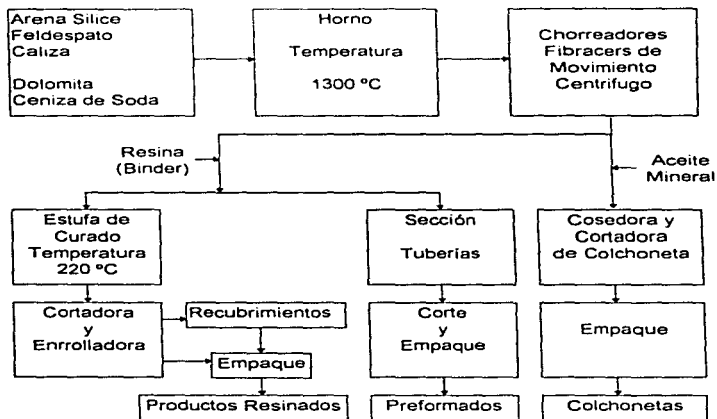
En la parte inferior de este "Hud" existe una banda transportadora, que es donde se controla la densidad del producto.

Sección de Corte.

Las fibras de vidrio son llevadas en una banda transportadora a la estufa de curado que opera aproximadamente a 300 °C con el fin de acelerar el fraguado de la resina. A la salida de la estufa se obtiene una placa continua que pasa a la sección de corte en donde se obtienen diversas placas para usos específicos.

La fibra de vidrio obtenida es también utilizada para la fabricación de medias cañas en diferentes espesores y diámetros de tubería, así como la colchoneta armada para recipientes y tuberías que operan a una temperatura máxima de 538 °C.

Diagrama de Proceso de Fabricación de la Fibra de Vidrio No. 3.1



Características de la Fibra de Vidrio.

Las características más sobresalientes de la fibra de vidrio son las siguientes:

Bajo factor de conductividad térmica lo que origina una eficiencia térmica muy alta.

Alta eficiencia acústica por su alto coeficiente de absorción de ruido.

Dimensionalmente estable, es decir no sufre dilataciones o contracciones con los cambios de temperatura

Es un material incombustible por su naturaleza inorgánica.

No crea hongos ni bacterias por su carácter inorgánico

Es un material muy ligero por su gran cantidad de celdas que contienen solo aire.

Es resiliente, es decir tiene la propiedad de recuperar su forma cuando cesa la causa o presión que lo deforma, por lo que evita que queden huecos sin aislamientos

No absorbe humedad por su baja higroscopia Su aumento de peso por exposición en una atmosfera humedad es despreciable

Fácil de instalar debido a su baja densidad

Versátil, pues debido a las diferentes formas en que se presenta el material, permite escoger el más idoneo para cada caso dependiendo del rango de temperaturas de operación, desde -84 °C (-120°F) hasta 538 °C (1,000 °F).

Presentaciones de la Fibra de Vidrio.

Los aislamientos de fibra de vidrio se presentan en diferentes formas que son utilizadas de acuerdo a la necesidad de la planta de proceso

Dentro de estas formas se tienen las siguientes

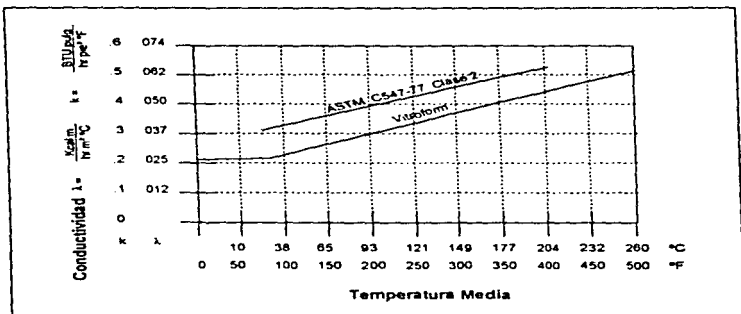
Preformado de fibra de vidrio para tuberías de proceso y servicio de la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera, hotelera, y de la construcción, en presentaciones con corte tipo bisagra y medias cañas, sigue el ASTM-C547, y opera desde -84 °C hasta 454 °C

Características del Preformado de Fibra de Vidrio Tabla No. 3.1

Material	Densidad		*Conductividad Térmica		Diámetro	Espesor	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	Kcal . m h . m ² . °C	BTU . in h . ft ² . °F				
Vitroform	80	5	0.0278	0.224	de 1.27 a 75.2	de 2.54 a 10.2	91.4	de -84 a 454

*Conductividad térmica evaluada a 24°C de temperatura media

Gráfica No. 3.1 de Conductividad Térmica, Vitroform.



"Colchonetas de fibra de vidrio para tuberías y equipos de proceso, para servicio de la industria química, minera, petrolera, farmacéutica, hotelera y de la construcción, sigue el ASTM-C592, opera desde 65 °C hasta 538 °C."

Se encuentran disponibles en cuatro diferentes tipos:

Tipo 1.

Metal desplegado en su cara exterior y malla de gallinero en su cara interior, especial para equipos de gran diámetro.

Tipo 2.

Metal desplegado en su cara exterior y respuntada en su cara interior, diseñada para tuberías que requieren rigidez y una superficie adecuada para el acabado.

Tipo 3.

Malla de gallinero en su cara exterior y respuntada en su cara interior, especial para tuberías, equipo y superficies irregulares

Tipo 4.

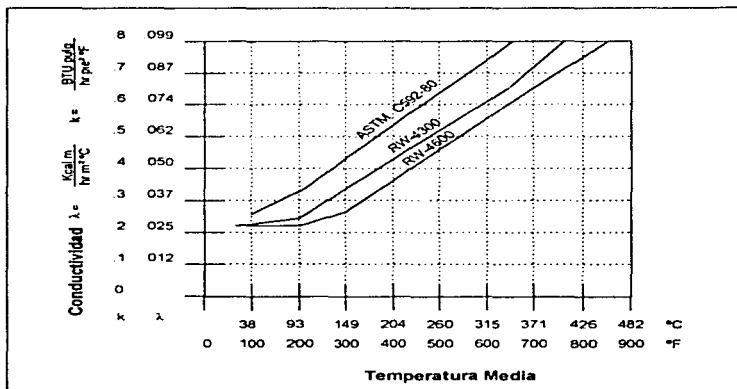
Metal desplegado en su cara exterior y tiras de metal desplegado en su cara interior, especial para tuberías de diámetros pequeños.

Características de la Colchoneta de Fibra de Vidrio Tabla No. 3.2

Material	Densidad		Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	k					
			Kcal . m h . m ² . °C	BTU . in h . ft ² . °F				
RW-4300	48	3	0.0280	0.226	2.5 a 10.2	61	244	65 a 538
RW-4800	96	6	0.0278	0.224	2.5 a 10.2	61	244	65 a 538

* Conductividad térmica evaluada a 24 °C de temperatura media.

Gráfica No. 3.2 de Conductividad Térmica RW-4300 y 4600.



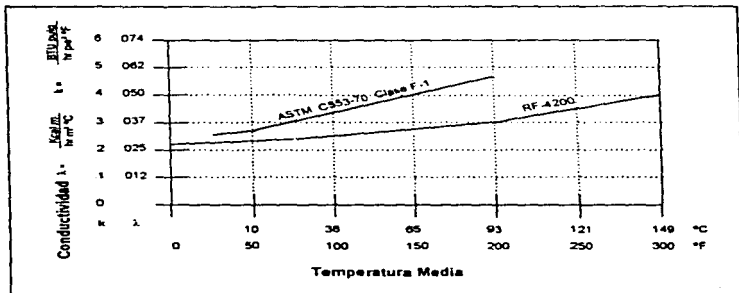
Placas de fibra de vidrio, especiales para equipos industriales, refrigeradores, tratamientos acústicos en cines y auditorios, sigue el ASTM-C553, operan desde -84 °C hasta 232 °C. Se presentan en las siguientes clases:

Características de las Placas de Fibra de Vidrio Tabla No. 3.3

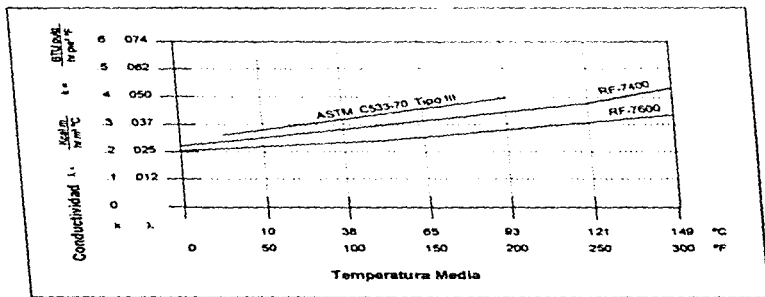
Material	Densidad		*Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	λ Kcal . m h m ² °C	k BTU . in h R ² °F				°C
RF-4125	20	1.25	0.0315	0.255	2.5, 3.8 y 5.1	61	122	-84 a 232
RF-4200	32	2	0.0291	0.235	2.5, 3.8 y 5.1	61	122	-84 a 232
RF-7400	64	4	0.0301	0.245	2.5 y 3.8	61	122	-84 a 232
RF-7600	96	6	0.0278	0.223	2.5 y 3.8	61	122	-84 a 232

*Conductividad térmica evaluada a 24 °C de temperatura media.

Gráfica No. 3.3 de Conductividad Térmica, RF-4200.



Gráfica No. 3.4 de Conductividad Térmica, RF-7400 y RF-7600.



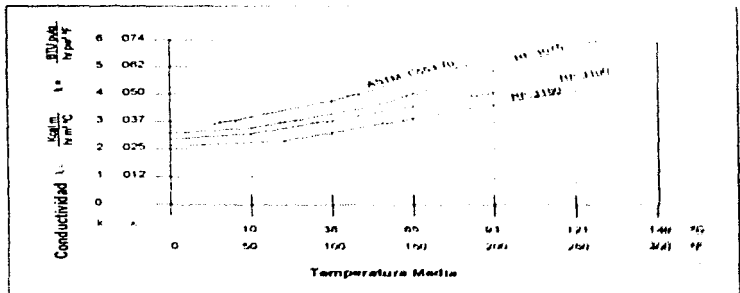
"Rollos de fibra de vidrio de baja densidad aglutinados con resina fenólica, sin recubrimiento y con recubrimiento de bond aluminio de 0.001" o aluminio de 0.0025" de espesor, para ductos de aire acondicionado, carrocerías de autobuses y embarcaciones, sigue el ASTM-C553, operan desde -82 °C hasta 232 °C."

Características de los Rollos de Fibra de Vidrio Tabla No. 3.4

Material	Densidad		Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	λ Kcal. m h.m ² .°C	λ BTU. in h.ft ² .°F				
RF-3075	12	0.75	0.0364	0.2940	2.5, 3.8 y 5.1	61 y 122	1524	-84 a 232
RF-3100	16	1	0.0333	0.2690	2.5 y 3.8	61 y 122	1524	-84 a 232
RF-3150	24	1.5	0.0291	0.2350	2.5	61 y 122	1524	-84 a 232

*Conductividad térmica evaluada a 24 °C de temperatura media.

Gráfica No. 3.5 de Conductividad Térmica RF-3075, RF-3100 y RF-3150



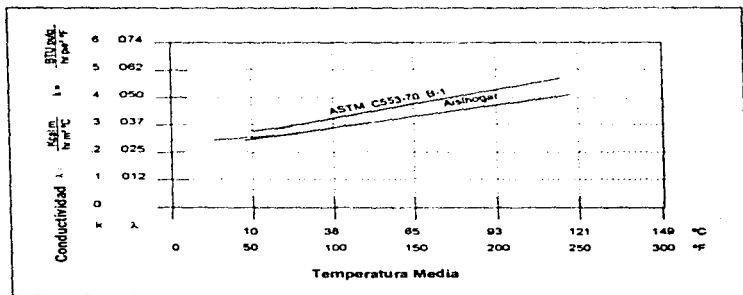
"Rollo de fibra de vidrio aglutinado con resina fenólica recubierto en una de sus caras de papel kraft, diseñado para la industria de la construcción como aislamiento termoacústico en interior de muros de mamposterías, de cancelos divisorios, complemento sobre de un falso plafón, sigue el ASTM C553, opera hasta 232 °C de temperatura máxima de operación "

Características del Rollo de Fibra de Vidrio Tabla No. 3.5

Material	Densidad		**Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	k					
			Kcal . m h . m ² . °C	BTU . in h . ft ² . °F				
Aislhogar	10.9	0.68	0.0366	0.3200	5.1 y 7.6	61 y 122	1524	-84 a 232

*Conductividad térmica evaluada a 24 °C de temperatura media.

Gráfica No. 3.6 de Conductividad Térmica, Aishogar.



3.2 Silicato de Calcio como aislante térmico.

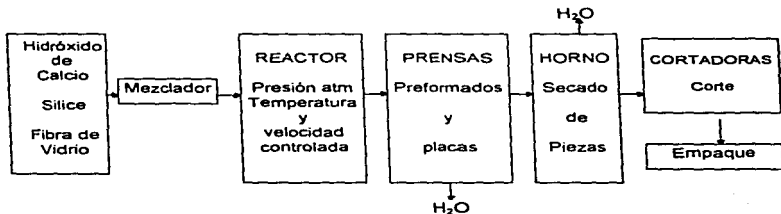
El silicato de calcio, es un material aislante, producido por la reacción en medio húmedo de tierras de infusorios y un compuesto que aporta iones Ca^{++} , tiene además un refuerzo que puede ser inorgánico como es el caso de la fibra de asbesto y otros casos mixtos como puede ser una mezcla de fibra de vidrio textil y una fibra orgánica tipo poliéster.

Como se mencionó, el silicato de calcio (diag No 3.2) se forma por medio de una reacción, en medio húmedo, que se lleva a cabo en un reactor a presión atmosférica, a temperatura y velocidad del mezclador controladas. El material así obtenido se bombea y posteriormente se prensa con el fin de formar las piezas a obtener y a la vez separar el agua. De ahí se procede al secado final, mismo que se lleva al cabo en un horno continuo.

La cantidad de agua en el silicato de calcio hidratado esta en función de la humedad que se mantenga durante la reacción y también es influida por el secado.

El material obtenido es blanco, ligero, homogéneo y de buena apariencia. En algunos casos desprende cantidades mínimas de polvo.

Diagrama del Proceso de Fabricación del Silicato de Calcio No. 3.2.



Propiedades Físicas.

•Densidad.

Varía de 11 lb/ft³ (176 kg/m³) hasta 26 lb/ft³ (416 kg/m³), ésta diferencia en densidades obedece fundamentalmente a la aplicación que se le dé, ya que los materiales de densidad mayor se destinan a temperaturas altas.

•Conductividad Térmica.

Para una temperatura de 200 °F (93 °C) y para materiales de baja densidad varía entre 0.38 y 0.42 BTU in/ft² °F - h y para los de alta densidad varía de 0.50 a 0.54 BTU in/ft² h °F. Bastante buena considerando el rango de temperaturas que cubre.

•Comportamiento como material aislante temperaturas de operación.

Para el silicato de calcio de baja densidad el rango es de 50 °C hasta 650 °C, para los de alta de 100 °C hasta 750 °C.

•Resistencia mecánica.

Se considera que tiene una excelente resistencia mecánica, ya que las cifras siguientes así lo indican.

Módulo de ruptura = 95 lb/ft² (6.5 kg./cm²).

•Resistencia a la compresión.

(5% de deformación) = 165 lb/ft² (11.2 kg/cm²).

Encogimiento lineal

Después de 24 hrs. de calentamiento a 1200 °F es de 1.4%.

•Resistencia al intemperismo.

No se afecta considerablemente con la humedad y una vez perdida ésta se conservan las propiedades del material.

•Fácil de instalar.

Preformados ligeros, a la medida que se necesite con el consiguiente ahorro en mano de obra.

•Aplicaciones.

En el aislamiento térmico, de tuberías y equipo de industrias de proceso, (petrolera, química, etc.), termoelectricas, metalúrgicas...

•Compatibilidad.

No daña los recubrimientos y es compatible con la mayoría de ellos.

Presentaciones del Silicato de Calcio

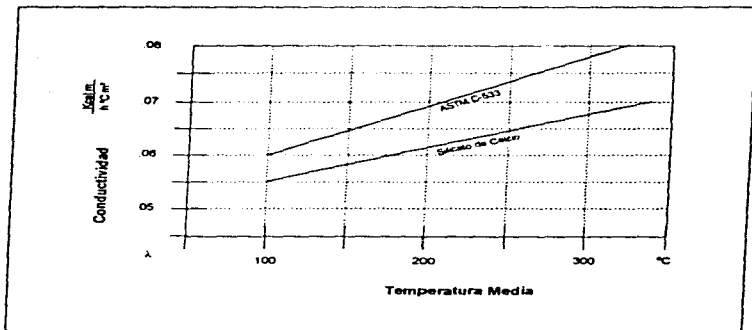
Preformado de Silicato de Calcio para tuberías y equipos de proceso y servicio de la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera, hotelera y de la construcción, en presentaciones de medias cañas, cuadrantes, sextantes y placas, cumple con el ASTM-C533, operan desde 65 hasta 650 °C

Características del Preformado del Silicato de Calcio Tabla No. 3.6.

Material	Densidad		**Conductividad Térmica		Diámetro	Espesor	Largo	Rango de Operación
			j	k				
kg/m ³	lb/ft ³	Kcal . m h . m ² . °C	BTU . in h . ft ² . °F	cm.	cm.	cm.	°C	
Preformado	240	15	0.04954	0.4	1.27 a 60.9	2.54 a 10	91.4	65 a 650
Placa	240	15	0.04954	0.4	15.2 y 30.4	2.54 a 10	91.4	65 a 650

*Conductividad térmica evaluada a 200 °C de temperatura media.

Gráfica No. 3.7 de Conductividad Térmica, Silicato de Calcio.



3.3 Perlita Expandida Como Aislante Térmico.

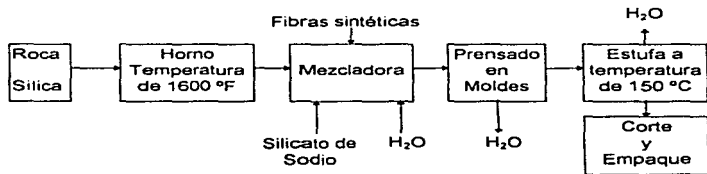
Es un material elaborado a base de perlita silice (diag 3.3), que es una roca silicea natural, y que se define como vidrio volcánico.

Esta roca tiene como característica que se expande de 4 a 20 veces su volumen, calentandola a 1600 °F, atrapando en su interior pequeñas burbujas de aire, dando por resultado un material aislante químicamente inerte (PH, 7), sumamente ligero (hasta 30 kg/m³ como mínimo) y de un color blanco niveo.

Esta perlita-silice, después de expandida es mezclada con silicato de sodio, como aglutinante y con fibras sintéticas como refuerzo mecánico.

Enseguida, se prensa en forma de media caña y bloque, pasando posteriormente a un proceso de secado lento y finalmente es empacada en cajas de cartón de alta resistencia.

Diagrama del Proceso de Fabricación de la Perlita Expandida No. 3.3



La perlita expandida presenta las siguientes características:

Excelente aislante térmico

Debido a la gran cantidad de celdas conteniendo aire.

Amplio rango de aplicación

Se puede utilizar para sistemas con temperaturas de operación hasta de 1382 °F (750 °C)

Gran ligereza

Se fabrica en densidades promedio de 14 lb/ft³.

No contiene asbestos

Por lo tanto no es contaminante ni entraña peligro para la salud.

No contiene cal

Por lo tanto no corroe el aluminio.

Gran resistencia mecánica

Debido a la multitud de fibras sintéticas de amarre.

No es corrosivo al acero

No produce ni acelera la corrosión.

Insoluble

En agua fría y caliente.

Incombustible

No produce flama ni la propaga.

Fácil de almacenar

Empacado en cajas de cartón de alta resistencia.

Fácil de indentificar

Por su sistema de empaquetado.

Propiedades Físicas de la Perlita Expandida Tabla No. 3.7.

Temperatura límite de servicio	1382 °F
Densidad	14 lb/ft ³
Resistencia a la compresión	(5% def.) a 190 lb/ft ²
Resistencia a la flexión	30 lb/ft ²
Encogimiento lineal	a 1022 °F, 0.85%
Conductividad térmica	a 200 °F, 0.39 BTU in/h °F ft ²

Presentaciones de la Perlita Expandida.

Preformado de perlita expandida para tuberías en la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera y hotelera, sigue el ASTM-C610, opera desde 65 °C hasta 750 °C.

Características del Preformado de Perlita Expandida Tabla No. 3.8

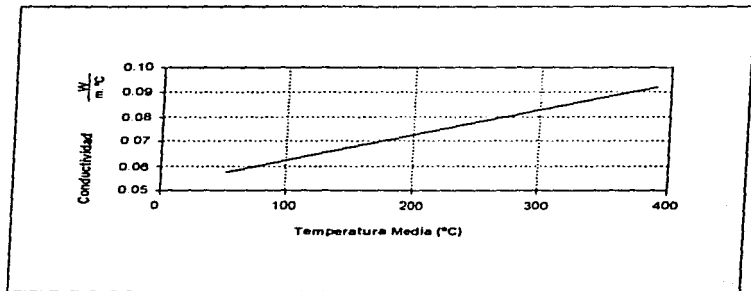
Material	Densidad		*Conductividad Térmica		Diámetro	Espesor	Largo	Rango de Operación
			λ	k				
	kg/m ³	lb/ft ³	Kcal . m h . m ² . °C	BTU . in h . ft ² . °F				
Perlita Expandida	224	14	0.0461	0.3725	de 1.3 a 60.9	e 2.5 a 10	91.4	65 a 750

Placas de perlita expandida para equipo en la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera y hotelera, sigue el ASTM-C610, opera de desde 65 °C hasta 750 °C.

Características de la Placa de Perlita Expandida Tabla No. 3.9

Material	Densidad		**Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	$\frac{1}{h}$ Kcal . m h.m ² °C	$\frac{k}{l}$ BTU . in h.ft ² °F				
Perlita Expandida	224	14	0.0461	0.3725	de 2.5 a 10.2	de 15.4 a 30.5	91.4	de 65 a 750

Gráfica No. 3.8 de Conductividad Térmica, Perlita Expandida.



Esta lana mineral soporta altas temperaturas sin perder sus excelentes cualidades tales como:

- Aislante
- Resistente al fuego
- Incombustible
- Alto coeficiente de absorción de sonido
- Repelente al agua
- Altamente resiliente
- Dimensionalmente estable

Propiedades Físicas de la Lana Mineral Tabla No. 3.10

Densidad	96,144 y 192 kg/m ³ 6, 9 y 12 lb/ft ³
Temperatura de servicio	650 °C (1202 °F)
Temperatura de fusión	1000 °C (1832 °F)
Encogimiento lineal	1% a 200 °C (392 °F)
Absorción de humedad	0.2%
Resistencia al fuego	Incombustible
Corrosión al acero	Si
Acelera a la corrosión del acero	Con el tiempo empieza la aparición de corrosión
Conductividad térmica media a 150 °C (302 °F)	K: 0.38 BTU-in/h ft ² °F λ: 0.047 kcal.m/h m ² °C
Resiliencia	98%
Pérdida de peso	1% a 700 °C (1,292 °F)
Eficiencia a 365 °C (689 °F)	75% calor conservado

Principalmente la lana mineral se presenta en la forma de colchoneta armada con una malla metálica. Esta colchoneta es utilizada principalmente en equipos que operan hasta 650 °C, generalmente tienen una densidad de 192 kg/m³ y una conductividad térmica de 0.047 kcal m/h m² °C.

Presentaciones de la Lana Mineral.

Colchonetas de lana mineral para tuberías y equipos de proceso y servicio de la industria química, naviera petrolera, farmacéutica, hotelera y de la construcción, sigue el ASTM-C592, operan desde 65 °C hasta 650 °C

Se encuentran en los siguientes tipos:

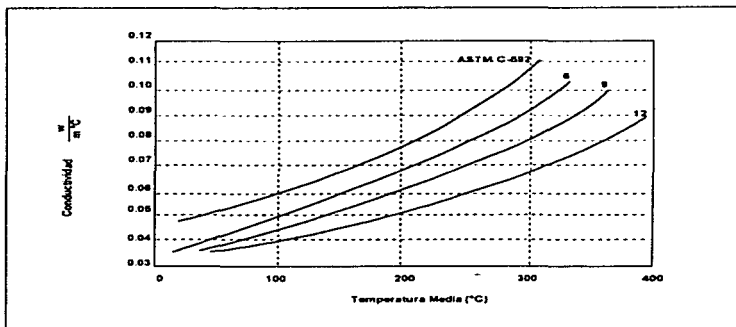
CP-96, CP-144 y CP-192.- Pespuntadas flexibles con recubrimiento metálico en una sola cara, para aplicaciones industriales en tuberías y superficies curvas.

CA-96, CA-144 y CA-192 - Colchas armadas semi rígidas con recubrimiento metálico en ambas caras, para equipos planos o de poca curvatura

Características de la Colchoneta de Lana Mineral Tabla 3.11

Material	Densidad		Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	λ	k				
			Kcal . m h m ² °C	BTU . in h ft ² °F				
LM-96	96	6	0.0320	0.261	2.5 a 10.2	61	244	65 a 650
LM-144	144	9	0.0300	0.24	2.5 a 10.2	61	244	65 a 650
LM-192	192	12	0.0310	0.251	2.5 a 10.2	61	244	65 a 650

*Conductividad térmica evaluada a 50 °C de temperatura media.

Gráfica No. 3.9 de Conductividad Térmica, Lana Mineral 6, 9 y 12 lb/ft³.

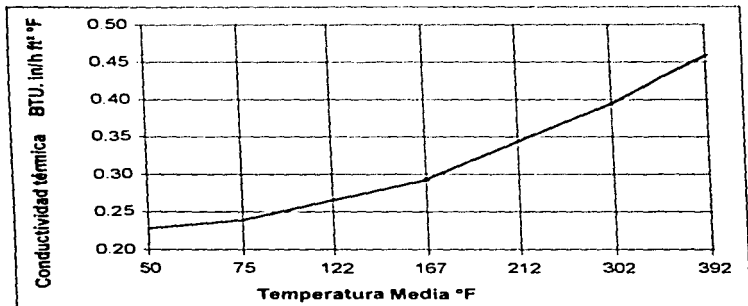
"Filtros de lana mineral, para uso como aislamiento de equipos de calefacción, hornos, estufas, equipos industriales y de refrigeración, así como para el tratamiento acústico, cumplen con el ASTM-C553-70, funcionan en temperaturas desde 0 °C hasta 650 °C".

Características de los Filtros de Lana Mineral Tabla 3.12

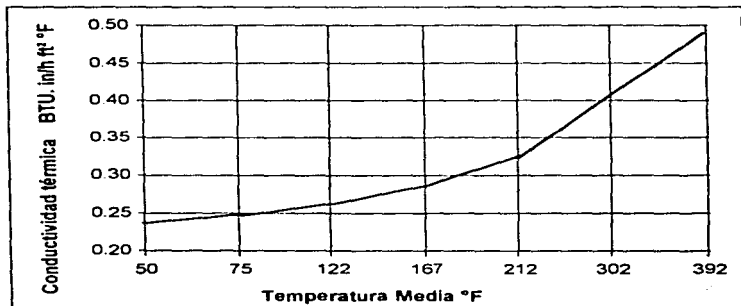
Material	Densidad		*Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	λ Kcal . m h m ² °C	k BTU . in h ft ² °F				
FFA-32	32	2	0.0330	0.265	2.5 a 10.2	61	122	Hasta 250
FFA-48	48	3	0.0330	0.266	2.5 a 10.2	61	122	Hasta 250
FFA-64	64	4	0.0330	0.266	2.5 a 10.2	61	122	Hasta 600
FFA-96	96	6	0.0320	0.261	2.5 a 7.6	61	122	Hasta 600
FFA-128	128	8	0.0300	0.241	2.5 y 5.1	61	122	Hasta 600

*Conductividad térmica evaluada a 50 °C de temperatura media.

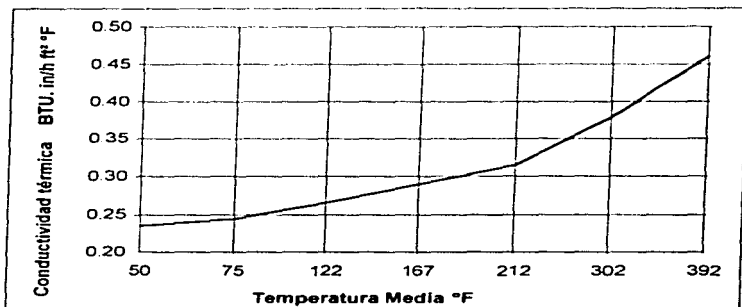
Gráfica No. 3.10 de Conductividad Térmica, FFA-32.



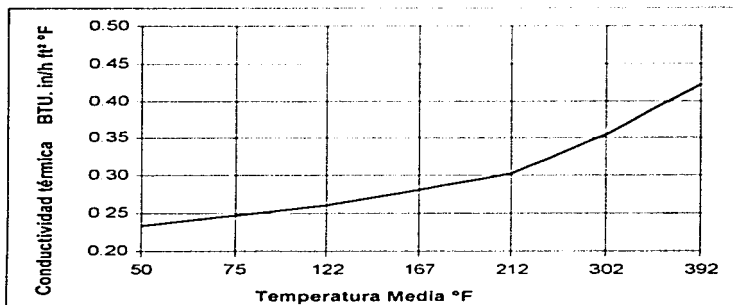
Gráfica No. 3.11 de Conductividad Térmica, FFA-48.



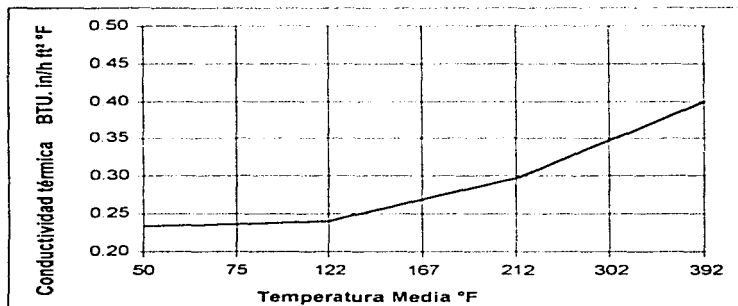
Gráfica No. 3.12 de Conductividad Térmica, FFA-64.



Gráfica No. 3.13 de Conductividad Térmica, FFA-96.



Gráfica No. 3.14 de Conductividad Térmica, FFA-128.



*Filtro resinado flexible de lana mineral, especialmente diseñado para la industria de la construcción como relleno aislante térmico y acústico entre muros cancelados y paredes huecas o sobre plafones sigue el ASTM-C553, opera normalmente hasta 200 °C *

Características del Rollo de Lana Mineral, Tabla No. 3.13

Material	Densidad		Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	λ Kcal . m h . m ² . °C	k BTU . in h . ft ² . °F				
Aislamuro	32	2	0.02838	0.229	6.4	61	122	Hasta 200

*Conductividad térmica evaluada a 50 °C de temperatura media.

3.5 Espuma de Poliestireno Expandible Como Aislante Térmico

Las espumas de poliestireno se aplican desde la década de los años 1950 cada vez en mayores volúmenes como materiales aislantes. De los múltiples resultados y experiencias obtenidas en la aplicación de la espuma de poliestireno en escala industrial, se han demostrado claramente que este es el material aislante por excelencia. Las razones para esto se derivan de la composición física y estructural de la espuma de poliestireno.

En el año de 1951 fue descubierto en los laboratorios de la compañía BASF en Ludwigshafen, Alemania, un poliestireno expandible con cualidades únicas en su tipo.

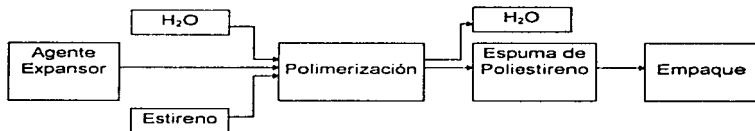
Se podría decir que el poliestireno expandible revolucionó el mercado de aquel entonces, debido a sus muy especiales características que hicieron que reemplazara en muchos campos a diversos materiales aislantes existentes.

En función de la creciente demanda mundial del poliestireno expandible, se empezó a producir en muchos países y, aunque posteriormente se crearon productos análogos basados en procesos de producción similares. Este producto domina aún el mercado con 63% del total mundial. Esto representa una cantidad de aproximadamente entre 250 mil toneladas de las 400 mil que se producen anualmente en todo el mundo.

Veremos ahora qué es el poliestireno expandible y posteriormente se describirá lo que es la espuma de poliestireno, la cual se obtiene a partir del primero.

En el diagrama 3.5 vemos representado en forma esquemática el proceso de obtención del poliestireno expandible.

Diagrama del Proceso Fabricación del Poliestireno Expandible No. 3.5



Este se obtiene a partir del estireno, el cual se polimeriza juntamente con un agente expansor en suspensión acuosa en un reactor adecuado. Al concluir este proceso de polimerización se obtiene el polímero en forma de perlas de un tamaño que varía entre 0.4 y 2.0 milímetros de diámetro. El polímero así obtenido se tiene que procesar todavía posteriormente, es decir se tiene que secar, clasificar por tamaños y envasar en recipientes adecuados.

La materia prima básica para la fabricación del poliestireno expandible es el estireno, que a su vez se obtiene del benceno y del etileno que son productos petroquímicos.

El agente expansor se añade al estireno para obtener un polímero con agente expansor ya incluido. El agente expansor comúnmente usado es un hidrocarburo de punto de ebullición de aproximadamente 35 °C.

Se pueden añadir también al estireno algunos otros aditivos que harán que el producto que se obtenga presente propiedades muy especiales, como por ejemplo la autoextinguibilidad.

El poliestireno se envasa en tambores que pueden cerrarse herméticamente precisamente para evitar la fuga del agente expansor, el cual puede difundirse lentamente hacia el exterior. Al perder su agente expansor el poliestireno pierde obviamente su capacidad de expansión para la fabricación de espumas.

Una vez envasado el poliestireno expandible se puede transportar por los diversos medios de transporte comúnmente usados hacia las plantas productoras de espuma de poliestireno.

La transformación del poliestireno a espuma de poliestireno se logra mediante el uso de vapor de agua saturado. El vapor de agua con una temperatura entre 95 y 105 °C reblandece al poliestireno al mismo tiempo que hace que el agente expansor desarrolle una presión considerable y estos dos efectos aunados hacen que se expandan las perlas de poliestireno expandible hasta 50 veces su volumen original (diag. 3.6).

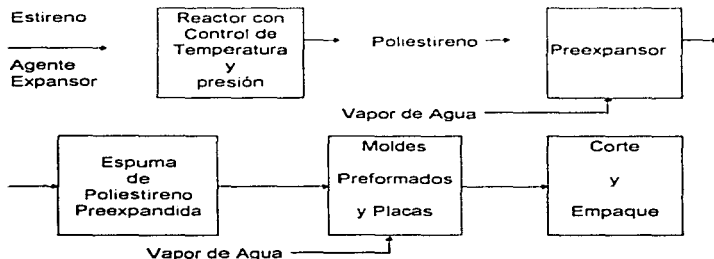
En la fase de preexpansión se controla la densidad que quiere obtenerse en los cuerpos de espuma que pretenden fabricarse. Este control se logra mediante el tiempo de residencia o fase de reposo del poliestireno en el preexpansor y también mediante la cantidad de vapor alimentado.

Este reposo es necesario para permitir que el vacío que se forma en cada una de las celdas de cada perla expandida como resultado del enfriamiento de las perlas y la consiguiente condensación del agente expansor contenido en ellas, se llene con aire para igualar las presiones exterior e interior de cada perla. Este proceso dura aproximadamente 4 horas y se puede comprobar físicamente al observar que una perla recién preexpandida se deja aplastar tomando la forma de una lenteja, mientras que una perla ya reposada siempre recupera su forma esférica original.

La tercera fase de la transformación del poliestireno expandible a espuma de poliestireno consiste en el moldeo. Este se lleva a cabo en moldes cerrados, los cuales se llenan totalmente con perlas sueltas ya preexpandidas. Estos moldes tienen una camisa de vapor en todo su alrededor. A esta camisa se inyecta vapor saturado, el cual nuevamente hace que las perlas traten de expandirse al mismo tiempo que las reblandece. En estado reblandecido las perlas de poliestireno tienen una superficie con propiedades adhesivas y este efecto se aprovecha para lograr que las perlas se solden entre sí, obteniéndose de esta manera un cuerpo moldeado compacto.

El tamaño y la forma del molde en el cual se va a moldear el poliestireno expandible pueden variarse libremente, ya que el poliestireno expandible rellena cualquier hueco del molde, independientemente de la forma de éste para dar una copia fiel del mismo.

Diagrama del Proceso de Fabricación de la Espuma de Poliestireno No. 3.6



Una vez descrito el proceso de obtención de la espuma de poliestireno, pasaremos a describir y analizar sus propiedades físicas, para entender la importancia que éstas tienen en su aplicación como aislante térmico.

La espuma rígida de poliestireno se caracteriza por una estructura celular cerrada y homogénea que contiene alrededor de un 98% de aire en volumen. Esta estructura celular tiene por resultado un alto poder de aislamiento contra el frío o contra el calor. Las celdas en la espuma de poliestireno tienen un tamaño de aproximadamente un centésimo a un milésimo de milímetro. Examinando la estructura celular de la espuma de poliestireno en un microscopio se ha podido comprobar que no existen celdas abiertas o celdas intercomunicadas entre sí. Esta extraordinaria característica hace que la espuma de poliestireno sea impermeable al agua, y con excepcionales propiedades térmicas, además de ser resistente y fácil de manejar y colocar.

Las propiedades físicas más importantes de la espuma de poliestireno son las siguientes:

Baja conductividad térmica.

La razón de las excelentes propiedades térmicas de la espuma de poliestireno se comprende más fácilmente viendo el comportamiento de la misma ante las tres formas de transmisión de calor:

Conducción.

Cada material tiene un coeficiente de conductividad térmica propio. El poliestireno por sí mismo tiene un coeficiente térmico bajo, el cual añadido al hecho de que la espuma de poliestireno contiene un 98% de aire inmóvil en su volumen y que el aire en reposo es uno de los mejores aislantes térmicos que existen, hacen que el conjunto de aire y poliestireno tengan un coeficiente de conductividad térmica muy reducido.

Convección

Por convección se entiende la transmisión de calor por medio de corrientes de aire. Mientras más pequeño es el espacio en que se confina al aire, menor es la conducción térmica por convección. La espuma de poliestireno está formada por millones de pequeñas celdas cerradas que, como se mencionó anteriormente, contienen aire en reposo y por lo tanto la transmisión de calor por convección en la espuma de poliestireno es prácticamente nula.

Radiación.

La transmisión de calor por radiación es, como lo indica su nombre, el calor que reciben los materiales al absorber en su superficie las radiaciones provenientes de una fuente de energía. La espuma de poliestireno por sus millones de celdas cerradas presenta una multitud de capas que funcionan como pequeñas pantallas reflejantes que disminuyen considerablemente la transmisión de calor por radiación.

El coeficiente de conductividad térmica de la espuma de poliestireno comúnmente usada en aislamiento es de $0.031 \text{ Kcal m/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Este dato se refiere a una espuma de poliestireno con una densidad de 17 kg/m^3 y esta medido a una temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Por lo tanto la espuma de poliestireno es tres veces más aislante que la madera y 30 veces más aislante que el concreto.

Bajo peso volumétrico.

La espuma de poliestireno es extremadamente ligera por su estructura celular, debido a la cual está compuesta en aproximadamente un 98% en volumen de aire. Las densidades usuales que normalmente se encuentran en la espuma de poliestireno varían entre 15 y 30 kg/m^3 . Para dar una idea de su ligereza, se puede mencionar que la espuma de poliestireno es 50 veces más ligera que el agua.

Alta resistencia a la compresión.

Tomando en cuenta su gran ligereza, la espuma de poliestireno tiene una gran resistencia a la compresión, la cual puede variar de 0.7 a 1.5 kg/cm^2 para densidades desde 15 a 30 kg/m^3 puede soportar cargas hasta de siete toneladas. En general, examinando la relación resistencia mecánica/densidad, se puede afirmar que la espuma de poliestireno tiene excelentes cualidades mecánicas.

Buena resistencia a la difusión.

Debido a su estructura de pequeñísimas celdas cerradas, la espuma de poliestireno presenta una gran resistencia a la difusión del vapor de agua y que es cuatro veces mayor que la del concreto y casi igual a la de la madera. Sin embargo, es necesario usar barreras de vapor en cualquier aislamiento de bajas temperaturas.

Absorción de agua casi nula.

Igualmente por su estructura de celda cerrada, la espuma de poliestireno absorbe cantidades mínimas de agua y, a diferencia de por ejemplo la madera, no presenta ningún fenómeno de absorción de líquidos por capilaridad. En inmersión total, la espuma de poliestireno absorbe aproximadamente un 48% en volumen de agua al año.

Gran rango de temperaturas de operación.

La espuma de poliestireno puede usarse para trabajar a temperaturas que varían desde menos de 150 hasta más 50 °C.

Envejecimiento casi nulo.

El poliestireno no sufre modificaciones en su composición y estructura molecular a través del tiempo y por lo tanto, la espuma de poliestireno no sufre ningún envejecimiento. Solamente si se expone a la acción de los rayos solares, especialmente a los rayos ultravioleta, puede sufrir degradaciones en su estructura molecular. Además, la espuma de poliestireno es absolutamente inorgánica y por lo tanto no promueve el crecimiento de hongos y bacterias.

Buena compatibilidad con otros productos y sustancias.

La espuma de poliestireno es absolutamente compatible y resiste a los elementos que normalmente se encuentran en los sistemas termoaislantes. La limitación que tiene es que no es resistente a los solventes aromáticos, a los hidrocarburos alifáticos y a los ácidos muy concentrados.

Todas estas propiedades que se acaban de mencionar solamente se cumplen, si la espuma de poliestireno se fabrica correctamente y se somete a un riguroso control de calidad en cada uno de los diferentes pasos de su proceso de obtención.

La característica más importante de una espuma de poliestireno para cumplir con las propiedades arriba citadas es su homogeneidad, es decir, que su estructura celular sea muy uniforme, pudiendo variar el tamaño de las celdas desde un centésimo hasta un milésimo de milímetro, o sea que todas las celdas sean microscópicas.

Se puede examinar fácilmente la homogeneidad de la estructura celular de una espuma de poliestireno, haciendo un corte de la misma en un espesor no mayor de tres milímetros con una navaja muy filosa y examinando la muestra así obtenida al trasluz.

La homogeneidad se logra únicamente mediante un control muy minucioso desde la polimerización del poliestireno expandible para lo cual se requiere de tecnología muy avanzada. Es absolutamente imposible producir un poliestireno expandible de calidad aceptable sino se dispone de la correspondiente tecnología, la cual siempre es producto de muchos años de investigación.

También es de importancia que la espuma de poliestireno esté bien fundida, es decir, que las perlas preexpandidas de las cuales esta compuesta, estén perfectamente soldadas unas a otras. La calidad de fusión de un muestra de espuma de poliestireno se puede examinar con facilidad si se quiebran una muestra y se examina si la rotura pasa a través de las perlas o simplemente pasa a lo largo de las uniones entre perla y perla. En este último caso, la fundición de la espuma es deficiente.

Si la fundición de la espuma de poliestireno es baja, las propiedades mecánicas de ésta bajarán considerablemente hasta el grado en que resulta inservible como material aislante.

La densidad de la espuma de poliestireno juega igualmente un papel importante para el cumplimiento de las propiedades físicas deseadas. Sin embargo, debe hacerse hincapié en que, siempre y cuando la densidad de la espuma se mantiene entre sus límites óptimos desde el punto de vista de conductividad térmica, o sea entre 16 y 32 kg/m³, la densidad nunca debe ser el único criterio para determinar si una espuma de poliestireno es eficiente como aislante térmico o no, sino que debe tomarse en cuenta siempre conjuntamente con la homogeneidad y la calidad de fusión de la espuma.

El criterio más recomendable para conocer la auténtica calidad de una espuma de poliestireno es, además de los criterios arriba citados, la determinación y el análisis del coeficiente de conductividad térmica.

Para determinar correctamente la calidad de una espuma de poliestireno, se deben sacar varias muestras de cada lote, ya que de otra manera sería difícil obtener datos verdaderamente representativos.

Presentaciones de Poliestireno Expandible.

Preformados de poliestireno expandido para tuberías que operan a baja temperatura en la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera, hotelera y de la construcción, en presentaciones de medias cañas, cumple con el ASTM-C177, opera de -150 °C a 50 °C.

Características del Preformado de Poliestireno, Tabla No. 3.14

Material	Densidad		* Conductividad Térmica		Diámetro	Espesor	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	λ Kcal. m h.m ² .°C	k BTU. in h.ft ² .°F				
Preformado	17	1.06	0.031	0.25	1.27 a 91.4	2.5 a 15.2	100	-150 a 50

* Evaluada a 0 °C de temperatura media

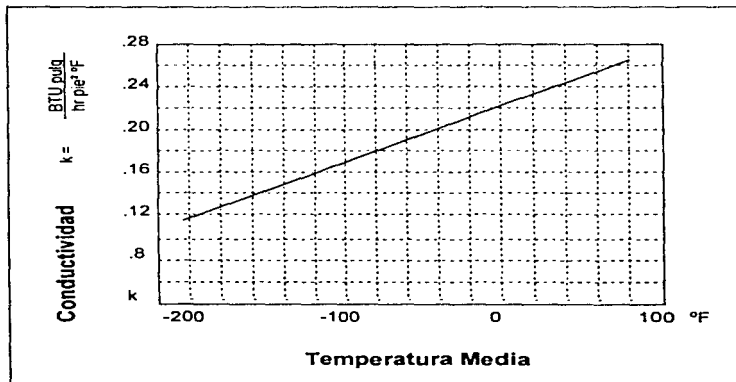
Placas de poliestireno expandido para equipos que operan a baja temperatura en la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera, hotelera y de la construcción, en presentaciones de placas, cumple con el ASTM-C177, opera de -150 °C a 50 °C.

Características de la Placa de Poliestireno, Tabla 3.15

Material	Densidad		**Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	λ Kcal. m h.m ² .°C	k BTU. in h.ft ² .°F				
Placas	17	1.06	0.031	0.25	2.5 a 15.2	61	122	-150 a 50

*Evaluada a 0 °C de temperatura media.

Gráfica No. 3.15 de Conductividad Térmica, Poliestireno.



3.6 Espuma Rígida de Poliuretano como aislante térmico.

Los poliuretanos fueron descubiertos por Otto Bayer en 1939. A partir de esa fecha estos plásticos han tenido un crecimiento fenomenal. Por lo que a continuación se describirá la aplicación como aislamiento térmico.

Materias Primas.

Para manufacturar los uretanos se usan las siguientes materias primas:

Poliols
 Isocianatos
 Agentes Espumantes
 Sulfactantes
 Catalizadores

Poliols.

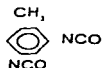
Se usan poliesteres y polieteres. Los primeros provienen de la reacción de ácidos dicarboxílicos (adípico, ftálico, etc.) con glicoles (etilenglicol, propilenglicol, 1-4 - butanodiol, hexanodiol)

Los segundos, provienen de la poliadición de óxido de propileno, óxido de etileno y tetrahidrofurano a moléculas que contienen varios grupos OH, como propilen-glicol, trimetidol-propano, pentaltritol, sacarosa, etc.

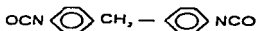
Isocianatos.

Prácticamente lo único que se usa en la fabricación de los uretanos son los diisocianatos y de estos dos acaparan cerca del 90% del consumo; estos dos isocianatos son:

TDI - Toluen di (isocianato)



MDI - Metilen di (fenil isocianato)



El primero es un líquido de olor penetrante y desagradable. El isómero más conocido es el 2-4 pero también se usa el isómero 2-6 Su uso mayor es en espumas flexibles (acojinamientos).

El MDI se vende en 2 grados, el puro que es sólido blanco que funde a 42 °C y se usa en elastómeros, fibras elastoméricas, etc. Y el MDI crudo o polimérico que es un líquido negrozco y se usa en espumas rígidas. Estos dos isocianatos al ser aromáticos son atacados por los rayos ultravioletas, decolorándose y disminuyendo ligeramente sus propiedades mecánicas o cuando se quiere evitar esto (pinturas, lacas, etc.) se usan isocianatos alifáticos como el hexametildisocianato, isoforondisocianato, etc.

Agentes Espumantes.

Al reaccionar los donadores de hidrógeno (polioles, aminas, etc.) con los isocianatos hay una reacción altamente exotérmica, este calor se aprovecha a veces para evaporar un líquido que hace que el polímero espume, dos de estos líquidos son freón y cloruro de metileno. El freón es en especial un magnífico agente espumante, aparte por sus propiedades térmicas, mejora en forma importante las propiedades aislantes. Cuando se espuma el poliuretano en un molde, el freón al tocar las paredes del molde se condensa formándose una piel integral (integral skin).

En la reacción de agua con un isocianato hay formación de CO₂, a veces este gas se usa como agente espumante, dando a la espuma también magníficas propiedades aislantes. Las espumas preparadas con agua no forman piel integral.

Catalizadores.

Los catalizadores tienen dos propósitos, dado que la reacción entre polioles e isocianatos tiene 2 pasos:

- Acelerar el desprendimiento del hidrógeno de la molécula.
- Acelerar la reacción entre el grupo isocianato y el oxígeno del grupo OH.

Los principales catalizadores son de dos tipos:

- Aminas terciarias como trietilen-diamina (DABCO, Air Products & Chemicals), y la tetrametilenbutilendiamina, TMBDA, etc.
- Catalizadores organo-metálicos, como dibutil-dilameato de estaño, octato estamoso, sales del mercurio, etc.

Sulfuctantes.

Llevan doble propósito

- Favorecer la buena mezcla entre los reactivos
- Favorecer la formación de celdas pequeñas y uniformes y no dejar que la espuma se colapse

Generalmente son compuestos a base de silicones (siloxanos) o aceites grasos atoxilados.

Usos.

Variando el tipo de polioles usados, tipo e isocianatos, uso de agente espumante, se pueden variar las propiedades de los uretanos en una forma amplísima

Así usando dioles y disocianatos se forman cadenas lineales muy largas, que se usan en lacas, recubrimientos textiles, elastómeros termoplásticos, etc .

Usando trioles de muy alto peso molecular y TDI más agua se obtienen las espumas flexibles usadas en acojinamientos

Usando trioles de muy bajo peso molecular e isocianatos alifáticos y dejando luego reaccionar con la temperatura ambiente se obtienen las pinturas de poliuretano.

Las espumas rígidas se obtienen reaccionando polioles con funcionalidad de 4 o mayor con MDI y usando freón o agua como agente espumante.

Como se deduce de lo anterior, el poliuretano es un plástico que se puede diseñar para prácticamente cualquier aplicación.

Espumas rígidas

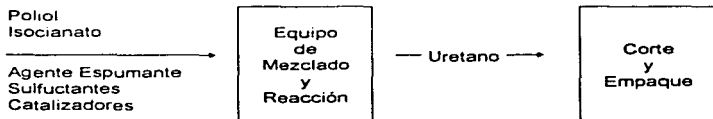
Composición.

Las espumas rígidas vienen de la reacción de polioles de bajo peso molecular y alta funcionalidad, estos generalmente son aductos de óxido de propileno, con etilendiamina, sorbitol, sacarosa, glucosa, pentaeritritol, trietanolamina, etc. Por su baja toxicidad prácticamente el único isocianato usado en estas espumas es el MDI crudo. El espumado se hace usando freón y/o agua.

Espuma resultante.

Controlando la cantidad de freón se obtienen espumas (diag No 3.7) con densidades que van desde 35 kg/m^3 hasta 1000 kg/m^3 . Aunque se pueden obtener espumas con densidades menores, no se recomienda bajar de 35 kg/m^3 por problemas de estabilidad dimensional.

Diagrama del Proceso de Fabricación de la Espuma de Poliuretano No. 3.7



Control de calidad.

A una espuma de poliuretano se le hacen varias pruebas, estas pruebas se hacen bien cuando se diseña la espuma, bien en cada lote producido, las pruebas más usuales son:

- Estabilidad Dimensional
- Resistencia a la Flama
- Densidad Libre
- Tiempo de Cremado
- Tiempo de Gelado
- Tiempo de Desmoldar
- Medida del Factor "K"
- % de Celda Cerrada
- Friabilidad

Métodos de aplicación

Las espumas de poliuretano se aplican en tres formas:

Vaciado en lugar.

En forma manual o usando máquinas de dos componentes (sigue descripción) Estas máquinas alimentan con un flujo controlado, dos componentes a una cabeza mezcladora donde se mezclan los componentes y se vacían en un molde. Son máquinas sencillas y económicas.

Espreado.

Es un sistema similar al anterior, pero la cabeza mezcladora se sustituye por una pistola de espreado que a su vez mezcla los componentes. Esta forma de aplicación tiene la ventaja de que se puede aplicar espuma en superficies irregulares como cóncavas, esféricas, etc.. Este método se usa mucho en el aislamiento de tanques, esferas, etc.. Otra ventaja del poliuretano para esta aplicación se adhiere perfectamente a cualquier material (menos hules de silicón y polietileno), en especial a los metales. Para esta aplicación se usan máquinas pequeñas y muy económicas, que en un pequeño camión se llevan junto con una compresora y los tanques de materia prima, permitiendo así una gran movilidad.

Preexpandido.

En algunas aplicaciones donde la espuma es difícil, se prefiere inyectar la espuma preespumada. Este es un uso muy convencional al fabricar paneles.

**Propiedades físicas. de la Espuma de Poliuretano de 35 kg/m³,
Tabla 3.16**

% Celda cerrada	90
Permeabilidad del vapor agua perm-in	1.5
Constante dieléctrica 1000 cps	1.04
Temperatura máxima de servicio	100 °C
Resistencia a la compresión (lb/ft ²)	35
Resistencia a la compresión para 150 kg/m ³	360
Factor "K" de conductividad térmica	
• Con Freón	0.11
• Con Agua	0.13

Como se puede observar la propiedad más sobresaliente de una espuma de baja densidad es su bajo factor "K", aproximadamente la mitad del factor "K" del poliestireno, fibra de vidrio, etc. Este factor envejece algo con el tiempo, debido a que hay algo de difusión de los gases contenidos en las celdas, el envejecimiento es de aproximadamente 15% (aumento de "K")

La resistencia a la compresión de una espuma de 35 kg/m³, es algo baja, pero aumentado la densidad aumenta notablemente.

Otra gran propiedad del poliuretano rígido es su uso para flotación, dada su baja densidad.

Las espumas de poliuretano pueden diseñarse desde no inflamables hasta autoextinguibles por el uso de polioles clorados o fosfatados. Esta aplicación es muy importante en la industria química y en la de la construcción.

Presentaciones del Poliuretano Expandido.

Espuma rígida de poliuretano expandido para tuberías que operan a baja temperatura en la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera, hotelera y de la construcción, en presentaciones de medias cañas, cumple con el ASTM-C591, opera desde -185 °C hasta 50 °C.

Características del Preformado de Poliuretano, Tabla No. 3.17

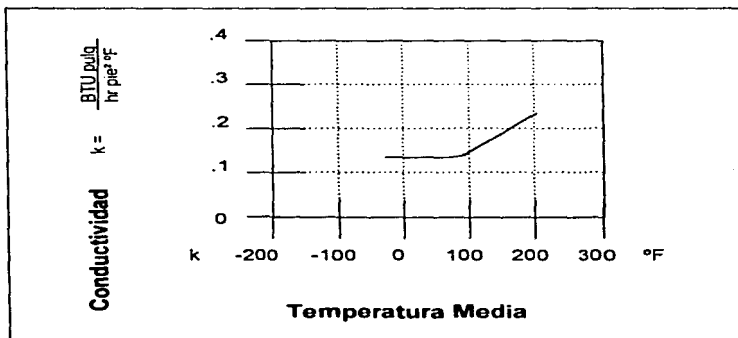
Material	Densidad		**Conductividad Térmica		Diámetro	Espesor	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	k					
			Kcal. m h.m ² .°C	BTU. in. h.ft ² .°F				
Preformado	35	2.2	0.0136	0.11	De 1.27 a 9.14	2.5 a 15.2	100	-185 a 50

Espuma rígida de poliuretano expandido para equipos que operan a baja temperatura en la industria farmacéutica, química, minera, petrolera, azucarera, hotelera y de la construcción, en su presentación en placas, cumple con el ASTM-C591, opera en un rango de -185 °C a 50 °C.

Características de las Placas de Poliuretano, Tabla No. 3.18

Material	Densidad		**Conductividad Térmica		Espesor	Ancho	Largo	Rango de Operación
	kg/m ³	lb/ft ³	k					
			Kcal. m. h.m ² .°C	BTU. in. h.ft ² .°F				
Placas	35	2.2	0.0136	0.11	2.5 a 15.2	61	122	-185 a 50

Gráfica No. 3.16 de Conductividad Térmica, Poliuretano.

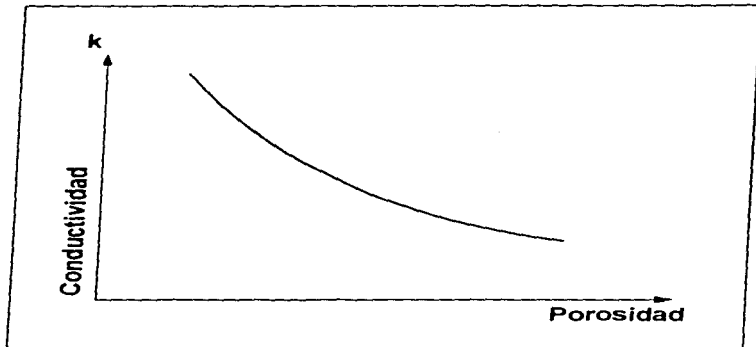


CAPITULO 4.

FACTORES QUE AFECTAN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

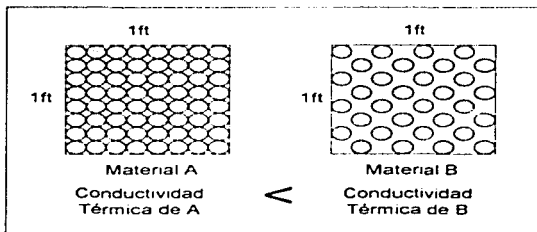
Comportamiento de la Conductividad Térmica con la Variación de la Porosidad.

Gráfica No. 4.1



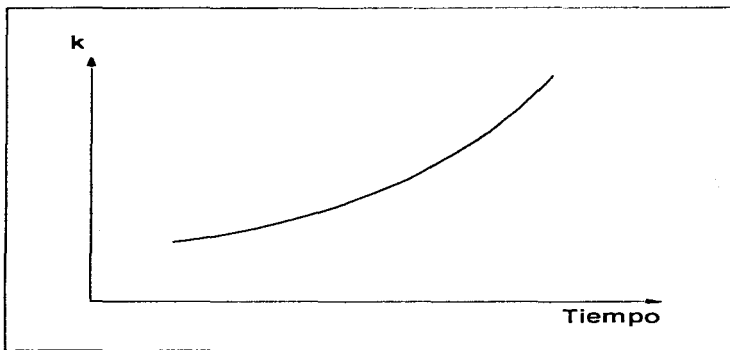
Un material aislante se caracteriza por tener una multitud de celdillas herméticamente cerradas, conteniendo aire o cualquier otro gas en reposo, por lo que se puede decir que un material aislante tiene menor conductividad térmica a medida que contiene una mayor cantidad de poros, que contienen a su vez más aire o cualquier otro gas en reposo, que no favorecen la transferencia de calor.

Esquema No. 4.1. Influencia de la Porosidad



Comportamiento de la Conductividad Térmica con Respecto al Tiempo.

Gráfica 4.2

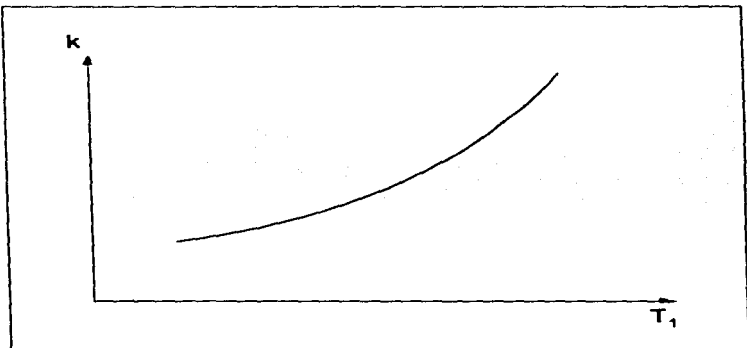


El tiempo de vida útil de un material aislante es un factor que influye en el valor de la conductividad térmica, principalmente en espumas plásticas que presentan el llamado envejecimiento.

Después de transcurrido cierto tiempo en operación el material aislante empieza a sufrir cierta degradación originada por los rayos solares y humedad, en su estructura, lo que origina que las celdas del material que originalmente tenían algún gas de conductividad térmica baja sean ocupadas gradualmente por aire que tienen una conductividad térmica mayor

Comportamiento de la Conductividad Térmica con la Variación de la Temperatura.

Gráfica No. 4.3

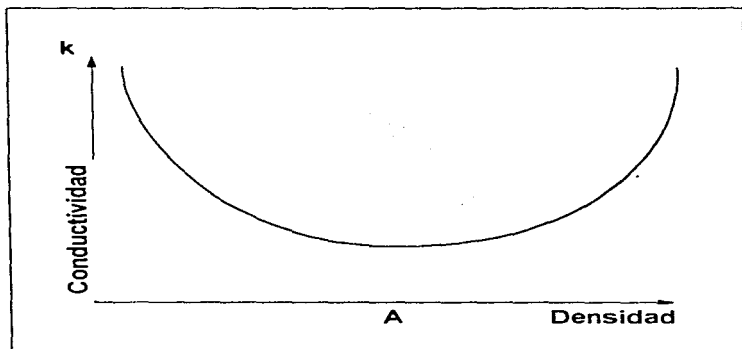


La temperatura es un factor que influye en la variación de la conductividad térmica, no es el mismo valor tomado a una temperatura de 50 °C que a 300 °C.

La gráfica muestra que a medida que aumenta la temperatura del sistema termoaislante, lo repercute con un aumento en la conductividad térmica del material, que se origina principalmente al aumento de temperatura del aire contenido en el material aislante y del mismo material.

Comportamiento de la Conductividad Térmica con la Variación de la Densidad.

Gráfica No. 4.4



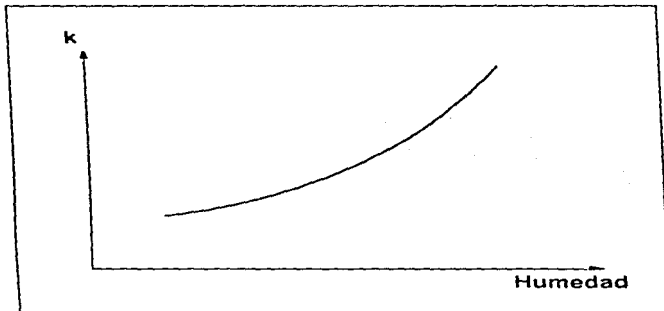
La densidad en un material termoaislante es de considerable importancia, ya que de esta dependerá su valor de conductividad térmica

En la gráfica se nota que a medida que aumenta más la densidad del material aislante, baja considerablemente la conductividad térmica del material, este es existe el material suficiente por cierto volumen que la transferencia de calor por convección es demasiado pequeña

Se puede seguir incrementando la densidad del material hasta llegar al punto A, en donde se encuentra el punto crítico entre estas dos variables, y a partir de este punto si incrementamos la densidad por resultado obtendremos un aumento de conductividad térmica

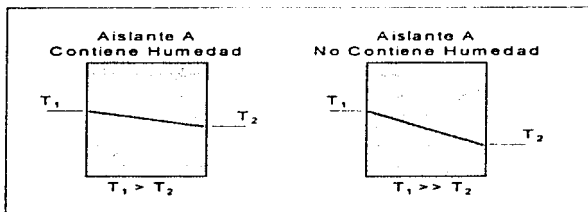
Comportamiento de la Conductividad Térmica con la Influencia de Humedad.

Gráfica No. 4.5



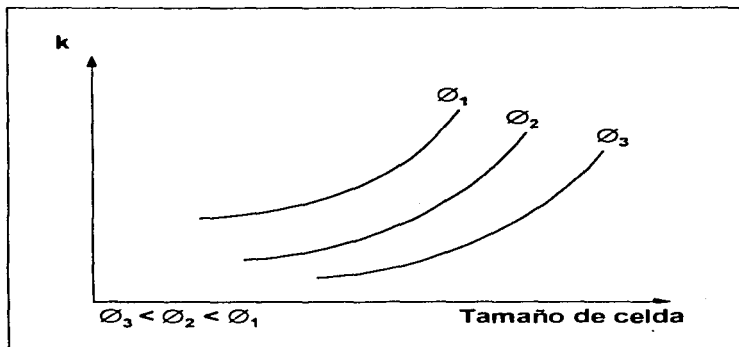
Todo material termoaislante pierde gradualmente sus propiedades térmicas, cuando sus celdas originalmente llenas con aire o cualquier otro gas, tienden a ser ocupadas por agua líquida o en fase gaseosa. El fenómeno se ve representado en esta gráfica, que indica que a medida que aumenta la humedad en sus celdas la conductividad térmica se incrementa. Tomando en cuenta lo anterior, por recomendación es preferible colocar un material permeable que impida el paso de humedad y por resultado menor transferencia de calor.

Esquema No. 4.2, Influencia de la Humedad



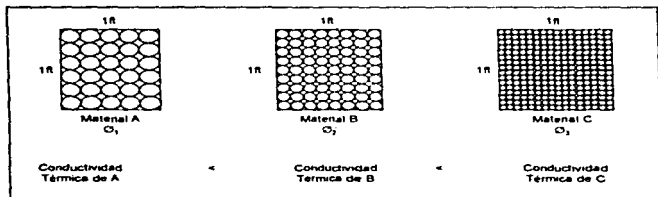
Comportamiento de la Conductividad Térmica con la Variación del Diámetro del Poro.

Gráfica No. 4.6



La gráfica muestra que a medida que el tamaño del poro es más pequeño la conductividad del material es menor y por lo tanto presentará mayor resistencia al paso del calor, esto es debido a que hay más celdas herméticamente cerradas a medida que el tamaño de poro es más pequeño y a la inversa si el tamaño de poro es mayor.

Esquema 4.3, Influencia del Diámetro del Poro



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO 5.

MÉTODO PRÁCTICO PARA DETERMINAR EL AHORRO DE ENERGÍA.

5. Metodo Práctico para Determinar el Ahorro de Energía en equipos y Tuberías de Servicio Caliente, con el Uso de Materiales Aislantes.

Como consecuencia del alza de los energéticos, la industria química, petroquímica, naviera, alimenticia, farmacéutica, etc. Está invirtiendo en mejoras en sus procesos, así como la instalación de mejores aislamientos, que las lleven al cumplimiento del objetivo de ahorro de energía

El presente ejemplo ayudará a calcular las pérdidas de calor, tiempo de retorno de la inversión y beneficios adicionales con el uso de un sistema termoaislante, en equipos y tubería que operan a temperaturas mayores a 65 °C.

En base a lo anterior se seleccionará el aislante más adecuado, en función de las condiciones del proceso y de las características del aislamiento

Las condiciones de operación que se consideran en el desarrollo del presente ejemplo, son las siguientes

Una planta de proceso tiene una tubería de 2" de diámetro, con una longitud de 328 ft., la tubería conduce vapor a una temperatura de 356 °F, la temperatura del lugar es de 78.8 °F.

Los objetivos son los siguientes

- a) Demostrar el beneficio que se obtendría con el empleo de un aislamiento térmico, en tuberías de alta temperatura, que operan sin aislamiento.
- b) Demostrar que la inversión en un sistema termoaislante se recupera en un periodo de tiempo corto
- c) Demostrar los beneficios adicionales que se obtendrán al utilizar aislamiento térmico

Datos

Diámetro de tubería: 2 in.

Longitud de tubería: 328 ft.

Temperatura de operación: 356 °F.

Temperatura ambiente: 78.8 °F.

Material aislante: Fibra de vidrio preformada.

Conductividad térmica del material: $k = 0.0006692 \times T_m + 0.19376$ BTU.in/hft² °F.
tomada de gráfica 3.1 de fabricante.

El cálculo se realiza para un año de operación equivalente a: 8640 h.
Por las condiciones de temperatura de operación, diámetro de tubería, rápida instalación y por que se requiere el mayor ahorro de energía; se toma la decisión de usar prefabricado de fibra de vidrio.

Ecuaciones.

$$Q = \frac{T_{op} - T_a}{\frac{E_1}{k_1} + \frac{E_2}{k_2} + \frac{E_3}{k_3} + \frac{1}{h_e}} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$T_m = \frac{T_{op} + T_s}{2} \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$T_{sc} = T_a + Q \times \frac{1}{h_e} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$E_{eq} = r_2 \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$k = 0.0006692 \times T_m + 0.19376 \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$h_e = h_r + h_c \quad \text{-----} \quad (6)$$

$$h_c = 0.27 (T_1 - T_2 / \text{Dext})^{1/4} \quad \text{-----} \quad (7)$$

$$h_r = \frac{0.173 \varepsilon [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]}{T_1 - T_2} \quad \text{-----} \quad (8)$$

$$T = \text{°R}$$

Donde:

- Q = Flujo de calor (BTU/h ft²)
- Top = Temperatura de operación (°F)
- Ta = Temperatura ambiente (°F)
- K = Conductividad térmica fibra de vidrio (BTU in/h ft² °F)
- 1/h_{ae} = Coeficiente externo de la película de aire (h ft² °F/BTU)
- Tm = Temperatura media (°F)
- Ts = Temperatura de superficie (°F)
- Tsc = Temperatura de superficie de cálculo (°F)
- r₁ = Radio interior del aislamiento (in)
- r₂ = Radio exterior del aislamiento (in)
- Eeq = Espesor equivalente (in)
- hr = Coeficiente de película por radiación (h ft² °F/BTU)
- hc = Coeficiente de película por convección (h ft² °F/BTU)
- Dext = Diámetro exterior de tubería incluyendo aislante (ft)
- T₁ = Temperatura de superficie (°F)
- T₂ = Temperatura ambiente (°F)
- ε = Factor de emisividad (adimensional)

Notas:

Para superficies mayores de 36 in de diámetro y equipo:

E = E (espesor de aislante)

Las temperaturas T₁ y T₂ de la ecuación (8), deberá ser en °R.

La ecuación (7) se aplica para tuberías con Dext ≤ 1 ft.

Para otros casos se pueden emplear las siguientes ecuaciones en función de las condiciones de operación del equipo de tubería.

- hc = 0.30 (T₁ - T₂) ^{1/4} Muros verticales con altura mayor a 3 ft.
- hc = 0.28 (T₁ - T₂) ^{1/4} Muros verticales con altura menor a 3 ft.
- hc = 0.38 (T₁ - T₂) ^{1/4} Muros horizontales arriba de 3 ft.
- hc = 0.20 (T₁ - T₂) ^{1/4} Muros horizontales abajo de 3 ft.
- hc = 0.29 (T₁ - T₂) ^{1/4} Para espesores menores a 1 ft.

Para tuberías:

E (Espesor del aislante) = Eeq (espesor equivalente)

5.1 Algoritmo del cálculo

1.

a) Para tuberías.

De tablas de espesores recomendables de fabricante de aislantes, proponemos un espesor adecuado en función de la temperatura de operación y diámetro de tubería.

Espesores de Aislamiento (Tuberías)		
Temperatura de Operación (°C)		
Diámetro de Tubería	Hasta 150	Hasta 250
1/4	1	1
3/4	1	1
1	1	1
1 1/4	1	1
2	1	1 1/4
3	1	1 1/4
4	1	1 1/4

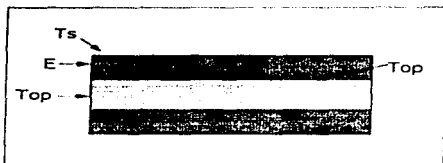
b) Para equipos.

De tablas de espesores recomendables de fabricante de aislantes, proponemos un espesor adecuado en función de la temperatura de operación.

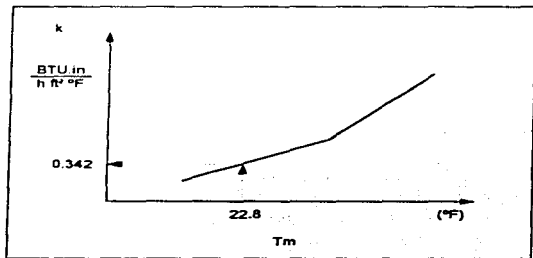
Espesores de Aislamiento (Equipos)	
Temperatura de Operación (°F)	Espesores Recomendados (In)
150	1
250	1 1/4
350	2
450	2 1/4
550	3
650	3 1/4
750	4

2. Como desconocemos la temperatura de superficie, con el espesor propuesto, suponemos una temperatura de superficie.

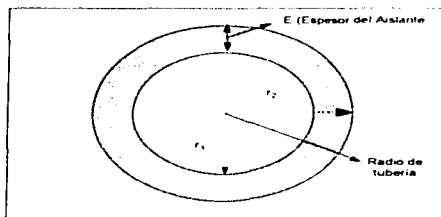
3. Evaluar la temperatura media, a la cual vamos a obtener la conductividad térmica del material aislante con ec. (2)



4. De la gráfica No. 3.1 del fabricante o de la ecuación 5 de comportamiento de conductividad térmica del material aislante, evaluamos la conductividad térmica en dicho punto.



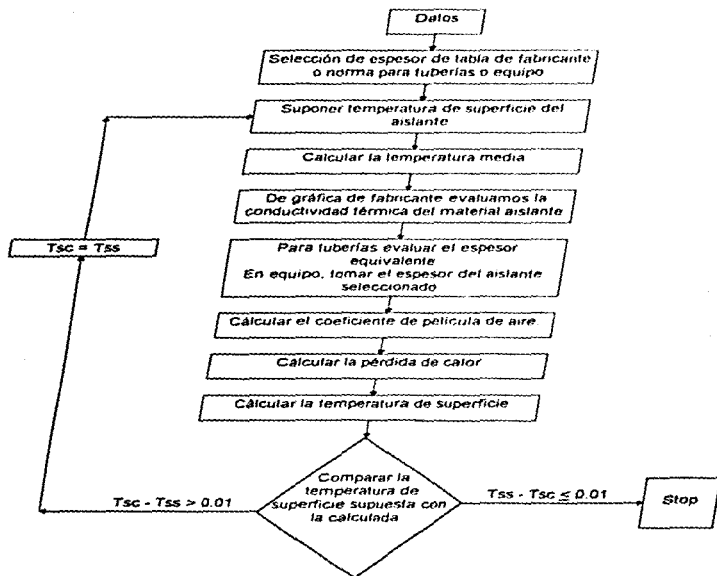
5. En una tubería el área de transferencia de calor en el interior es diferente a la del exterior, por lo que se requiere hacer una corrección al espesor, de aquí que para el caso de tubería, el espesor equivalente se evalúa con la ec (4)



6. De las ecuaciones 6, 7 y 8 calculamos el coeficiente de película de aire.
7. Con la ec. (1), calculamos la pérdida de calor que se tiene con el espesor propuesto del aislamiento
8. Auxiliándonos de la ec (3) evaluamos la temperatura de superficie de cálculo.
9. Comparar la temperatura de superficie supuesta con la de cálculo, si la diferencia es menor o igual a 0.01, los resultados de conductividad térmica, pérdida de calor y temperatura de superficie son los correctos.

Si la diferencia es mayor a 0.01, hacer $T_{sc} = T_{ss}$ y regresar al punto número 3 y repetir hasta que se cumpla la condicionante del punto 9

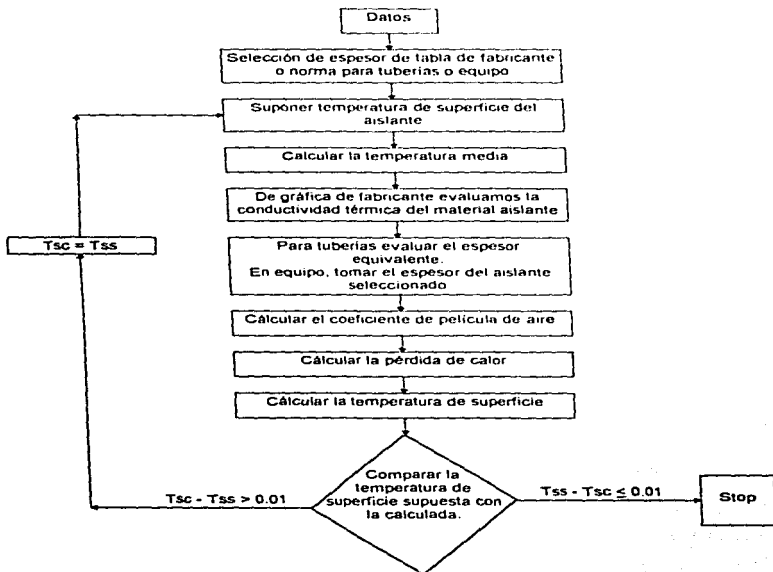
Diagrama de Flujo No. 5.1, Determinación de la Pérdida de Calor.



T_{sc} = Temperatura de superficie de cálculo
 T_{ss} = Temperatura de superficie supuesta

Si la diferencia es mayor a 0.01, hacer $T_{sc} = T_{ss}$ y regresar al punto número 3 y repetir hasta que se cumpla la condicionante del punto 9

Diagrama de Flujo No. 5.1, Determinación de la Pérdida de Calor.



T_{sc} = Temperatura de superficie de cálculo
 T_{ss} = Temperatura de superficie supuesta

5.2 Desarrollo Numérico.

1. De tablas de fabricante de aislamientos preformados de fibra de vidrio, dice que para una temperatura de 356 °F y una tubería de 2", el espesor recomendable es de 2".

2. Suponemos la temperatura de superficie que se tendría al instalar 2" de espesor: $T_{ss} = 89.6$ °F.

3. Evaluamos la temperatura media con la ec. (2).

$$T_m = \frac{356 + 89.6}{2} = 228.8$$

$$T_m = 228.8 \text{ °F}$$

4. De la ecuación 5, evaluamos la conductividad térmica de la fibra de vidrio:

$$k = 0.0006692 (228.8) + 0.19376$$

$$k = 0.34285 \text{ BTU in/h ft}^2 \text{ °F}$$

5. Como estamos evaluando tubería, tenemos que calcular el espesor equivalente, con la ec. (4).

$$E_{eq} = 3.1875 * \ln 3.1875 / 1.1875$$

$$E_{eq} = 3.147 \text{ in}$$

6. Evaluar el coeficiente de transferencia de calor de la película de aire con las ecuaciones 6, 7 y 8.

$$h_c = 0.27 (87.6 - 78.8 / 0.53125)^{1/4}$$

$$h_c = 0.573317 \text{ h ft}^2 \text{ °F/BTU}$$

$$h_r = 0.173 * 0.8 * [(549.2 / 100)^4 - (538.4 / 100)^4] / 549.2 - 538.4$$

$$h_r = 0.89034 \text{ h ft}^2 \text{ °F/BTU}$$

$$h_e = h_r + h_c$$

$$h_e = 0.89034 + 0.573317$$

$$h_e = 1.463657 \text{ h ft}^2 \text{ °F/BTU}$$

7. Sustituyendo en la ec. (1), calculamos la pérdida de calor:

$$Q = \frac{356 - 78.8}{\frac{3.147}{0.34285} + \frac{1}{1.463657}} = 28.1074 \text{ BTU/h ft}^2$$

$$Q = 28.1074 \text{ BTU/h ft}^2$$

8. Ahora evaluamos la temperatura de superficie de cálculo, con la ec (3)

$$T_{sc} = 78.8 + (28.1074 * 1/1.463657)$$

$$T_{sc} = 98 \text{ } ^\circ\text{F}$$

9. Comparamos la temperatura de superficie de cálculo con la supuesta:

$$98 - 89.6 = 8.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La diferencia es mayor a la tolerancia establecida en el punto No. 9 del algoritmo de cálculo por lo que hacemos $T_{sc} = T_{ss}$ y volvamos a repetir el cálculo, iniciando ahora en el punto número 3.

Después de repetir el cálculo varias veces, obtenemos finalmente.

$$Q = 28.4149 \text{ BTU/h ft}^2$$

$$T_s = 97 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$k = 0.34529 \text{ BTU. in/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Ahora bien el área total del flujo de calor en una tubería de 2" de diámetro, con 2" de espesor de aislante y 327.8 m. de longitud, es de:

$$A_t = 3.1416 * \phi A * L$$

$$A_t = 3.1416 * 0.53125 * 327.8$$

$$A_t = 547.09 \text{ ft}^2$$

ϕA = Diámetro de tubería aislada.

La pérdida total de calor durante un año de operación con 2" de espesor de aislante, es de:

$$Q_{CA} = Q * A_t * \text{año}$$

$$Q_{CA} = 28.4149 * 547.09 * 8640$$

$$Q_{CA} = 134.3131 \text{ MM BTU/año}$$

De la tabla No. 8.6 de comportamiento de pérdida de calor, se tiene que una tubería de 2" de diámetro a una temperatura de 356 °F, tiene una pérdida de calor anual de:

$$Q_{SA} = 1634.16 \text{ MM BTU/año}$$

Entonces la diferencia entre la pérdida de calor en una tubería de 2" sin aislar y la misma pero con 2" de espesor de un aislamiento preformado a base de fibra de vidrio, corresponde al ahorro de calor anual

$$\begin{aligned}Q_A &= Q_{S/A} - Q_{C/A} \\Q_A &= 1634.16 - 134.3131 \\Q_A &= 1499.8469 \text{ MM BTU/año}\end{aligned}$$

Si además se conoce que el costo promedio aproximado del MM BTU producido vía vapor es de \$40.48, entonces el costo del calor ahorrado, es el siguiente:

$$\begin{aligned}\text{Costo calor ahorrado} &= 1499.8469 \cdot 40.48 \\&= \$60713.80\end{aligned}$$

Por lo tanto el tiempo de retorno de la inversión del sistema termoaislante a base de preformados de fibra vidrio sería la relación de la inversión por el sistema termoaislante entre el costo del calor ahorrado

$$\begin{aligned}\text{Tiempo de retorno de la inversión} &= \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Costo del calor ahorrado}} \\&= \frac{10450.00}{60713.80} \\&= 2.06 \text{ meses}\end{aligned}$$

Si además tenemos que un m³ de gas produce 36587.3 BTU y si estamos perdiendo 1499.8469 MM BTU, por no aislar la tubería, entonces estamos quemando:

$$\begin{aligned}\text{Gas} &= 1499.8469 \times 10^6 / 36587.3 \\ \text{Gas} &= 40993.6 \text{ m}^3/\text{año}\end{aligned}$$

Como se estableció al inicio, el ejemplo está desarrollado con aislamiento a base de preformado de fibra de vidrio en 2" de espesor, con lo cual se obtuvo una resistencia al paso del calor significativa; pero dependerá de las propiedades del material aislante seleccionado, (conductividad térmica, espesor), la cantidad de calor que logremos retener.

5.3 Alternativa con Diversos Aislantes.

Ahora bien, sabemos que en el mercado de los termoaislantes, existen diversos materiales para servicio caliente tales como; silicato de sodio, lana mineral, silicato de calcio, fibra de vidrio cada uno con diferentes características y propiedades, los cuales pueden ser empleados con la misma finalidad, la de ahorrar energía en tuberías o equipos de proceso pero el resultado será diferente, como lo demuestra el siguiente análisis de pérdidas de calor, el cual nos ayudará a seleccionar, aquel material que logre el mayor ahorro de energía que nuestro proceso requiere

Para el desarrollo de este análisis se requiere que las condiciones de operación de la tubería o equipo de proceso estén en las mismas condiciones; por lo que consideraremos los mismos datos del ejemplo anterior

Datos:

Diámetro de tubería 2 in
Longitud de tubería 328 ft
Temperatura de operación 356 °F
Temperatura ambiente 78.8 °F
Cálculo para un año de operación 8640 h
Espesor recomendable del aislante 2 in

La diferencia radica en la conductividad térmica las cuales son evaluadas de las gráficas del fabricante o de las siguientes ecuaciones de comportamiento de conductividad térmica del material aislante.

Silicato de sodio (preformado) 14 lb/ft³ (224 kg/m³)
 $k = 0.0005053 \times T_m + 0.41216$

Lana mineral colchoneta 12 lb/ft³ (192 kg/m³)
 $k = 0.00085712 \times T_m + 0.19111$

Fibra de vidrio (colchoneta) 3 lb/ft³ (48 kg/m³)
 $k = 0.00096844 \times T_m + 0.047531$

Fibra de vidrio (preformada) 5 lb/ft³ (80 kg/m³)
 $k = 0.0006692 \times T_m + 0.19376$

Donde:

T_m = Temperatura media (°F)
 k = Conductividad térmica (Btu in/h ft² °F)

Siguiendo el algoritmo de cálculo del ejemplo anterior obtenemos la siguiente tabla, que muestra principalmente las temperaturas de superficie y pérdidas de calor de los diferentes materiales aislantes.

Tabla No. 5.1, Pérdidas de Calor.

Material	Ø	T.O.	L	E	T _s	Q
Silicato de Sodio	2	356	328	2	104.5	199.71
Lana Mineral (colchoneta)	2	356	328	2	98.7	149.21
Fibra de Vidrio (preformado)	2	356	328	2	97.0	134.31
Fibra de Vidrio (colchoneta)	2	356	328	2	93.3	104.62

Donde:

Ø = Diámetro de tubería (in)
 T.o. = Temperatura de operación (°F)
 L = Longitud de tubería (ft)
 E = Espesor del aislante (in)
 T_s = Temperatura de superficie del aislamiento (°F)
 Q = Pérdida del calor anual (MM BTU/año)

De la tabla No 5.1 ordenamos los materiales de menor a mayor recomendación en función de su pérdida de calor.

Recomendable.

Menor ← ————— Mayor

Silicato de Sodio < Lana Mineral Colchoneta < Fibra de vidrio Preformado < Fibra de vidrio Colchoneta

199.71 < 149.21 < 134.31 < 104.62 MMBTU/año

De aquí se concluye que la fibra de vidrio como colchoneta es la que tiene una mayor resistencia al paso del calor; por lo tanto es la más recomendable.

Tabla No. 5.2, Análisis de Resultados.

Material	Flujo con Aislamiento	Flujo sin Aislamiento	Costo reducido	Costo kWh BTU	Costo kWh ahorrado	Costo material ahorrado	Costo energía ahorrada	Costo mano de obra	Costo total del sistema	Tarifa del recurso de la energía
	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	MWh
Refractario de Zirconio (preformado)	140 71	1 834 18	1 434 45	40 48	54 096 5	8 720 00	4 350 00	2 360 00	13 370 00	2 8
Lana mineral (rock wool)	140 21	1 834 18	1 464 97	40 48	60 110 8	3 450 00	4 800 00	3 540 00	11 800 00	2 4
Fibra de vidrio (preformado)	134 11	1 834 18	1 490 84	40 48	60 713 8	4 700 00	4 250 00	1 540 00	11 490 00	2 0
Fibra de Vidrio (rock wool)	104 82	1 834 18	1 520 36	40 48	61 815 8	2 875 00	4 850 00	3 000 00	10 725 00	2 1

De la tabla No 5.2 se determina que el mejor aislante que cumple con las características del sistema es el preformado de fibra de vidrio

Por lo tanto como recomendación general, para determinar el aislante y su espesor, será necesario realizar el cálculo con el algoritmo del ejemplo anterior, ya que este nos dará la seguridad de una buena selección del sistema con su respectivo ahorro de energía

5.4 Selección de Materiales Termoaislantes por su Eficiencia en la Resistencia al Paso del Calor.

Si realizamos los cálculos para diversos diámetros de tubería y diferentes temperaturas de operación, llegaríamos a tener una distribución de materiales aislantes como lo muestra la tabla No 5.3 En la cual se visualiza que para temperaturas desde 37 °C y hasta 450 °C en tuberías y equipo, los materiales de fibra de vidrio son los que retienen la mayor cantidad de calor en comparación con los demás materiales aislantes para alta temperatura

Para temperaturas entre 451 °C y 640 °C en tuberías menores a 10" el Silicato de Calcio resulta ser el más adecuado, complementando la Lana Mineral para tubería mayores a 12" y equipo.

El rango de 640 °C a 750 °C en tubería y equipo es cubierto por el Silicato de Sodio

En sistemas a baja temperatura comprendidos entre 36 y -49 °C el Poliestireno y la Fibra de Vidrio son los más adecuados, complementando el rango de -50 hasta -200 el Poliuretano en tubería y equipo.

Tabla No. 5.3, Distribución de Materiales Aislantes.

Temperatura de operación (°C)		200	-50	-49	36	37	450	451	640	641	750
Diámetro											
1/2"		Poliuretano			Poliestireno y Fibra de Vidrio		Fibra de Vidrio		Silicato de Calcio		Silicato de Sodio
10"	Lana Mineral										
30"											
		Baja Temperatura					Alta Temperatura				

5.5 Materiales Termoaislantes y sus Rangos de Operación.

De información de fabricantes realizamos la siguiente distribución de materiales en función de sus rangos de temperaturas de operación, la cual puede servir de referencia para conocer si el material puede operar correctamente en las condiciones de temperatura del sistema

Tabla No. 5.4, Rango de temperatura de Operación de Materiales Aislantes

Temperatura de operación (°C)							
Temperaturas de Operación (°C)							
-200	-120	-84	36	37	538	650	750
			Fibra de Vidrio				
			Poliestireno		Lana Mineral		
Poliuretano				Silicato de Sodio			
				Silicato de Calcio			
Baja Temperatura				Alta Temperatura			

5.6 Clasificación de Materiales Termoaislantes en Función de sus Propiedades.

En función de las propiedades físicas y químicas de los diversos materiales aislantes existentes se realiza esta tabla, la cual podría ayudar a seleccionar que tipo de material termoaislante cumple con las condiciones de nuestro sistema como, manejo, transporte, almacenaje, tóxico, combustible, etc. que son importantes en la aplicación del aislante

Tabla 5.5, Clasificación de Materiales Termoaislantes.

Característica	Alta Temperatura				Baja Temperatura		
	Fibra de Vidrio	Lana Mineral	Silicato de Calcio	Silicato de Sodio	Fibra de Vidrio	Poliuretano	Poliuretano
Cond Térmica BTU in/hr ft ² °F	0 23	0 28	0 37	0 33	0 225	10 27	0 18
Precio	1	1 - 1 1	1 1 - 1 3	1 1 - 1 3	1	0 9	1 3
Rango de temp °F	De -120 a 1000	Hasta 1200	Hasta 1200	Hasta 1500	De -120 a 1000	De -148 a 140	De 350 a 180
Manejo	9	7 5	7	7	9	9	9
Colocación	10	9	8	8	10	8	8
Transporte	9	9	8	8	9	9	9
Almacenaje	8	7 5	7	7	8	8	8
Comportamiento Físico							
Rígidez, Dureza	No	No	Regular	Buena	No	Buena	Buena
Resist. a Comp.	No	No	Regular	Buena	No	Regular	Regular
Densidad lb/ft ³	3-5	6-12	14	14	4-6	1 1	2 18
Estab Dimensional	Buena	Buena	Maia	Regular	Buena	Maia	Maia
Comp. Quím. Corr.	pH neutro	Alcalino					
Stress Corr.	No	No	Si	No	No	No	No
Tóxico	No	No	Si	No	No	Si	Si
Combustible	No	No	No	No	No	Si	Si

CAPITULO 6.

REGLAS Y DIAGRAMAS EN LA INSTALACIÓN DE MATERIALES TERMOAISLANTES.

6. Reglas y Diagramas en la Instalación de Materiales Termoaislantes.

6.1 Instalación del Sistema Termoaislante

6.1.1 Solo se podrá proceder a la colocación del termoaislante una vez que la tubería o recipientes se han probado neumáticamente o hidrostáticamente a la presión de diseño, si no es así, en la colocación del termoaislante deberán dejarse libres todas las uniones soldadas o bridadas y no se recubrirán hasta haber pasado las pruebas referidas

6.1.2 Deberá verificarse cuidadosamente el espesor y tipo de material termoaislante de acuerdo a la temperatura de operación de la línea o recipiente.

6.1.3 Las placas de identificación sobre equipos o tubería deben quedar visibles haciendo sobre el aislamiento los cortes necesarios y sellando con mastiques (16)* para evitar la penetración de agua

6.1.4 En el caso de bridas, las tuercas deben quedar accesibles; para ello, se corta el termoaislante a una distancia de 2" ó 3" rematando después con un chaflán de cemento monolítico y sellando con mastiques (16)*

6.1.5 Todo saliente metálico de los recipientes o tuberías se aislará hasta una distancia de por lo menos, dos veces el espesor usado, rematando con mastiques (16)*

6.1.6 Se tomarán las precauciones necesarias para que el aislamiento colocado durante el día quede adecuadamente protegido de la intemperie durante la noche.

6.2 Limpieza.

La superficie por aislar deberá limpiarse perfectamente librándola de óxido, grasas, aceite o escoria usando medios mecánicos (fibra o cepillo metálico, o inclusive, chorro de arena) y/o químicos (solventes aromáticos)

6.3 Preparación.

Se aplicará una mano de pintura primaria (11)*. Esto se hará inmediatamente después de la ejecución del punto anterior, para evitar la formación de nuevas capas de óxido u otras formas de contaminación.

* Ver 6.12

6.4 Colocación del Termoaislante.

Preformado para Tuberías.

6.4.1 Las diferentes secciones que componen el material termoaislante deben acoplarse buscando un ajuste perfecto con la superficie del tubo. Cuando entre ellas se presenten separaciones, deben resanarse con cemento monolítico, pero, si la separación es mayor que 1.0 cm, deberá eliminarse mediante el reacomodo de piezas.

6.4.2 Sobre la misma línea, y de tramo en tramo, las juntas longitudinales del preformado deben alternarse en zig-zag para evitar en lo posible su propia continuidad. Estas juntas deben ubicarse de forma diagonal y no vertical u horizontalmente.

6.4.3 Por cada tramo de 0.914 m se colocarán 3 conchos de alambre (1)* para la sujeción de las secciones preformadas. Estos cinchos deben asegurar al termoaislante pero sin deformarlo, agrietarlo o cortarlo, sobre todo con materiales granulares.

Colchoneta para Tuberías.

6.4.4 Se prefiere el uso de colchoneta precortada a la medida del desarrollo perimetral de la tubería considerando para ello diámetro exterior del aislamiento. Esto, para evitar cortes en campo con su consecuente desperdicio de tiempo y material.

6.4.5 La colchoneta precortada se coloca en tramos con ancho de 0.61 m, con el material desplegado hacia afuera. Se junta a tope y se acopla firmemente a la superficie metálica procediendo luego a coser transversal y longitudinalmente con alambre (2)*. Y con dos cinchos de alambre (1)* con una tensión suficiente para asegurar una buena sujeción, pero en ningún caso deberá alterar el espesor, y por ende, la densidad de la colchoneta termoaislante.

6.4.6 Las juntas longitudinales se ubicarán en sentido diagonal y se alterarán en zig-zag sobre la misma línea.

6.4.7 Las irregularidades excesivas en el contorno de la superficie de la colchoneta colocada deben ser remodeladas con cemento monolítico para obtener una superficie uniforme.

* Ver 6.12

6.4.8 Sobre la colchoneta y antes del enchaquetado de aluminio se colocará un recubrimiento de cartón asfaltado (6)* con traslapes de 5 0 cm. en los dos sentidos el cual se sujetará con dos cinchos de alambre (1)*. Estos traslapes deben ser siempre botaguas.

6.4.9 Cuando el espesor sea mayor de 102 mm (4") se prefiere el uso de doble capa, para lo cual se siguen los siguientes lineamientos:

- La capa de mayor espesor se coloca primero
- Las juntas en los dos sentidos, en ningún caso deben coincidir. Deben colocarse alternadamente de tramo a tramo y de capa a capa
- Se prefiere el uso de colchoneta pespuntada para evitar los puentes de transferencia de calor que significa el doble de armado metálico.
- En este caso, también se usará el cartón asfaltado (6)* antes del enchaquetado de aluminio

Recipientes.

Con Placa Fibrosa Semi-rígida.

6.4.10 En el cuerpo del recipiente se colocarán con las juntas alternadas en forma de petatillo. La sujeción se podrá hacer de diversas maneras, a saber:

- En recipientes de diámetro de 2 50 m. y menores con cinchos de alambre (1)* o fleje (4)* espaciados 30 cm. Tensados de tal forma que sujetando firmemente al termoaislante no lo corten, deformen o alteren su espesor.

6.4.11 En recipientes de diámetro mayor, el anclaje se hará:

- Con pernos autosoldantes (23)*, distribuyendo 8 pernos/m². La placa fibrosa se inserta en los pernos y se sujeta con el clip rápido. El perno debe tener una longitud original de 6 mm. más que el espesor de aislamiento. Una vez colocado el clip, la punta sobrante se corta con pinzas alicatas de modo que, finalmente, la longitud del perno sea un poco menor que el espesor de aislamiento. Esto se consigue aprovechando la compresibilidad del material fibroso.

* Ver 6.12

Con pernos similares al punto anterior que ya vienen soldados a la superficie metálica, pues se encuentran dentro del alcance de trabajos del contratista fabricante del recipiente. El procedimiento de sujeción es el mismo descrito en el punto anterior con la alternativa de hacer un alambrado entrecruzado.

6.4.12 Con tuercas soldadas en hileras paralelas al cuerpo del recipiente. Estas hileras tendrán una separación de 0.61 m. Las tuercas se aprovechan para anclar en ellas un alambrado entrecruzado y en zig-zag que sujeta firmemente al termoaislante. La distancia entre tuercas será siempre mayor que 19 mm. pero por lo menos 6 mm. menor que el espesor de aislamiento y, como en el caso de los pernos, pueden soldarse en campo, soldadas por el contratista del recipiente. Los huecos originados por las hileras de tuercas se rellenarán convenientemente con fibra suelta (18)* y luego se resanarán con cemento monolítico.

- En el caso del aislante aplicado en capa múltiple es recomendable el tipo de sujeción descrito en 6.4.5.
- Para las cabezas de los recipientes, el termoaislante se trazará y cortará siguiendo el contorno, según sea plano o torisférico. El mejor acoplamiento y anclaje se logrará siguiendo los puntos 6.4.11 y 6.4.12 con la alternativa de usar el sistema de anillos flotantes, en caso de requerirse por relevado de esfuerzos.

Con Colchoneta Fibrosa con Armado Metálico

6.4.13 En el cuerpo y cabezas del recipiente se colocará en las juntas alternadas en forma de petatillo cosiendo en forma perimetral con alambre (1)*. La sujeción se hará igual que lo descrito en 6.4.5, 6.4.6 y 6.4.7.

- Las irregularidades que provoca el anclaje en la superficie de la colchoneta se resanarán con cemento monolítico y si se requiere, se aplicará una capa continua de 13 mm. (1/2") de espesor con un rendimiento de 6 kg./m².
- Sobre la colchoneta y antes del enchaquetado de aluminio se colocará una capa electroaislante de cartón asfaltado (6)* con un traslape de 5 cm. (2") en ambos sentidos y en forma botaguas que será sujeta con cinchos de alambre (1)* con una separación de 0.61 m.

* Ver 6.12

Con Bloque Granular.

6.4.14 Los bloques de 0.1524 m ó 0.30 m. de ancho se colocan de forma vertical y también con las juntas alternadas en forma de petatillo, buscando el junteo a hueso para evitar ranuras, si éstas son menores de 6 mm. se resana con cemento monolítico, si son mayores, se resana el material. Para la sujeción, en este caso se pueden usar los sistemas con pernos o tuercas, pero solo con alambre entrecruzado. No debe insertarse en los pernos ya que su propia rigidez hace que el material se fracture

6.5 Juntas de expansión.

La separación entre las juntas de expansión se definirá de acuerdo con la siguientes tabla

Temperatura de Operación	Distancia en Mat. Granulares	Distancia en Mat. Fibrosos
200° C	8 m	12 m
300° C	7 m	10 m
400° C	5 m	8 m
500° C	4 m	6 m
600° C	3 m	4 m
800° C	3 m	4 m

Las juntas de expansión se conseguirán dejando una separación de 5.0 cm (2") entre tramo y tramo de termoaislante guardando la distancia definida por la tabla anterior. Ese hueco se rellenará con fibra suelta (18)* reteniéndola después con una banda de cartón asfaltado (16)* sujeta en sus extremos con cinchos de alambre (1)*.

Sobre las juntas de expansión no debe colocarse cemento monolítico ni cualquier otro elemento atiesador o no deslizante

En lo posible, deben hacerse coincidir con los soportes y en tuberías verticales debén ubicarse abajo de ellos

* Ver 6.12

6.6 Venas de Calentamiento.

Las venas de calentamiento, de vapor o eléctricas, deben ser tratadas con thermón para incrementar la superficie de transferencia de calor.

Cuando el termoaislante es preformado y la vena paralela, se hará una ranura en V de tamaño suficiente en el interior del preformado para adaptarlo a la formación provocada por la vena. Si la vena es helicoidal, se usará el preformado en la medida inmediata superior y se logrará su acoplamiento practicando los cortes longitudinales suficientes.

Cuando el termoaislante es colchoneta, el acoplamiento se conseguirá sin cortes o ranuras, simplemente con un poco de mayor tensión sobre el material.

6.7 Accesorios (Cambios de Dirección).

Preformado Para Tubería.

6.7.1 Para diámetros de tubería menores de 76 mm. (3") en aislamiento de codos se hará un corte a 45° sobre los extremos coincidentes sellando cualquier separación menor a 6 mm con cemento monolítico, una separación mayor requiere reacomodo o un nuevo trazo y corte.

6.7.2 Para diámetros de tubería de 102 mm. (4") y mayores, en codos, el termoaislante se aplicará en sectores curvos cortados y trazados considerando el diámetro y forma del codo en cuestión.

6.7.3 Para cualquier diámetro de tubería y para otros accesorios (tes, válvulas, yes, etc.) el contratista trazará y hará los cortes suficientes y necesarios a fin de que el acoplamiento entre el termoaislante y la superficie metálica no admita huecos mayores a 6mm, si los huecos son mayores, deben rellenarse con fibra suelta (18)*.

6.7.4 Todos los sectores así cortados deben unirse firmemente sujetándolos con cinchos de alambre (1)* cuya tensión no deforme, ranure o corte el termoaislante.

6.7.5 Sobre el termoaislante se colocará malla de gallinero (15)* para admitir el adecuado resane con cemento monolítico (8)*.

* Ver 6.12

Colchoneta Fibrosa con Armado Metálico.

El contratista trazará y cortará el termoaislante considerando el diámetro y la forma del accesorio, aunque en este caso resulta más sencillo que en preformado, deberá prevenirse la existencia de huecos mayores a 6 mm., para lo cual se prefiere el uso de colchoneta respuntada, con metal desplegado al exterior.

6.8 Selección y Colocación de Acabados.

Se entiende como acabado el o los materiales que en combinación puedan proporcionar al termoaislante protección suficiente contra el ataque de los factores climatológicos y según el material de que se trate, pueden ser **Metálicos y No metálicos.**

6.8.1 Acabado Metálico.

Selección Consiste de lámina de aluminio (3)* y podrá usarse en todas las áreas en donde no existan ambientes, derrames o goteos que puedan afectar químicamente a este material.

Colocación.

- En tuberías y cuerpo de recipientes de diámetro menor a 2 50 m se precisa de un rolado previo sobre la pieza de lámina. Para mejorar su adaptación a la superficie cilíndrica
- Se colocan las bandas de 0.914 m de ancho de forma perpendicular al eje principal del recipiente o tubería dejando un traslape botaguas de 5 0 cm. (2") en los dos sentidos.
- Sobre los traslapes se fijan las pijas (5)* guardando entre ellas una distancia de 0.15 m tanto en el sentido transversal con en el sentido longitudinal.
- Adicionalmente a los materiales de fijación del punto anterior y de forma opcional, podrán usarse flejes (4)* con una distribución de dos flejes por tramo. En las cabezas de los recipientes o en los accesorios de tubería la lámina de aluminio debe trazarse y cortarse en gajos siguiendo la forma geométrica a fin de lograr el mejor acoplamiento contra el contorno del termoaislante instalado.

* Ver 6.12

- En las cabezas de los recipientes o en los accesorios de tubería la lámina de aluminio debe tratarse y cortarse en gajos siguiendo la forma geométrica a fin de lograr el mejor acoplamiento contra el contorno del termoaislante instalado.
- Los traslapes deben ser bordoneados con el propósito de mejorar la hermeticidad del acabado metálico
- En las cabezas de recipientes o accesorios de tubería no se usará fleje, solamente pijas autorrosnantes (5)*
- Si la localidad del centro de trabajo es de alta precipitación pluvial, los traslapes tanto en tubería como en accesorios y recipientes deberán sellarse con un sellador (20)*, el cual se aplicará con un rendimiento de 2.4/m².

6.8.2 Acabado No Metálico.

Selección Se usará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del mastique asfáltico, en aquellas áreas en donde por razones de corrosión no se pueda usar el enchaquetado de aluminio

Consiste de capas sucesivas de mastique asfáltico (16)* reforzadas con malla de fibra de vidrio (17)*

Colocación.

- En tramos rectos y accesorios de tubería y en cuerpo y cabezas de recipientes se repella una primera capa de mastique asfáltico (16)* sobre el aislamiento o el cemento monolítico debidamente seco. Esta capa tendrá un rendimiento de 2.4 /m² y deberá cubrir totalmente el cemento monolítico.
- Sobre la primera capa se coloca la malla de refuerzo de fibra de vidrio (17)*. El secado del mastique asfáltico debe ser tal, que la malla se adhiera con facilidad pero sin embeberse o, en su colocación, despegar o desgarrar la primera capa. Esto se logra en una o dos horas. la malla debe traslaparse 5.0 cm. (2") en los sentidos.
- Se aplica una nueva capa repellada de mastique asfáltico con un rendimiento de 1.5/m²; debe distribuirse uniformemente para cubrir y tapar completamente a la malla de fibra de vidrio.

* Ver 6.12

- Si la instalación es exterior en una zona de alta precipitación pluvial y/o hay excesivo abuso mecánico, el procedimiento descrito en los puntos anteriores deberá repetirse por lo menos una vez más para lograr una protección suficiente.

6.9 Se aislarán con fines de protección al personal.

- Todas las superficies a menos de 2.15 m arriba del nivel de piso distantes 0.60 m, o menos de extremos u orillas de andadores, pasillos o plataformas y cuya temperatura de superficie sea igual o mayor a 60 °C (333° K)
- Carcazas de bombas, boquillas, entradas de hombre, registros, protección de personal, bridas o válvulas se aislarán solamente con cemento monolítico protegido con mastique asfáltico, de modo que se pueda remover con facilidad.

6.10 Recomendaciones.

- Los materiales termoaislantes deberán protegerse contra la intemperie durante su transporte y desde que se reciben en obra hasta que quedan totalmente instalados con su respectivo recubrimiento
- Se prefiere el uso de materiales incombustibles
- Las aristas del termoaislante, sobre todo granulares, se les dará un boleoado para evitar fracturas o maltrato por abuso mecánico
- Los trabajos parcialmente terminados deberán protegerse de la intemperie de un día para otro, o por más tiempo si hay una suspensión de los mismos.
- Las bandas metálicas que protegen a las juntas de expansión, en ningún caso se fijarán con pijas
- Todas las perforaciones a través del acabado deben ser protegidas contra la intemperie
- Las líneas de condensado de vapor, corriente abajo de las trampas, no se aislarán para protegerlas contra la evaporación súbita y el golpe de ariete, excepto en aquellos tramos donde se requiera por protección de personal.
- Cuando dos secciones aisladas por protección al personal tengan una distancia menor a 2.50 m., el aislamiento deberá hacerse continuo.
- Se aislarán aquellos instrumentos y sus líneas de señales que lleven venas de calentamiento (eléctricas o de vapor).

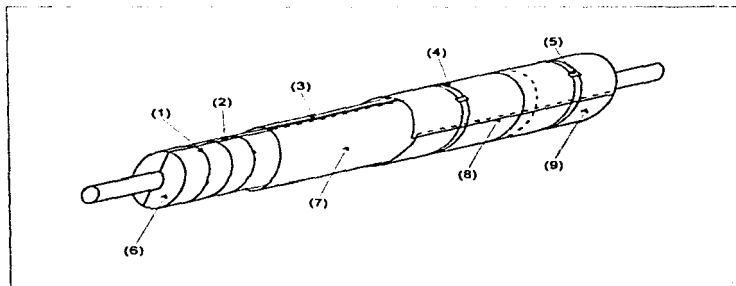
- Deberá aislarse por protección al personal cualquier instrumento o sus líneas de señales cuya temperatura sea mayor a 60°C (333°k). Si el termoaislante no es aceptable por diseño, se deberán colocar mamparas de protección

6.11 Diagramas de Instalación.

Para mejorar la comprensión de lo descrito anteriormente se presentan a continuación una serie de dibujos que muestran formas de colocación, sujeción y acabado de los sistemas termoaislantes.

Diagrama No. 6.1, Instalación en Tuberías

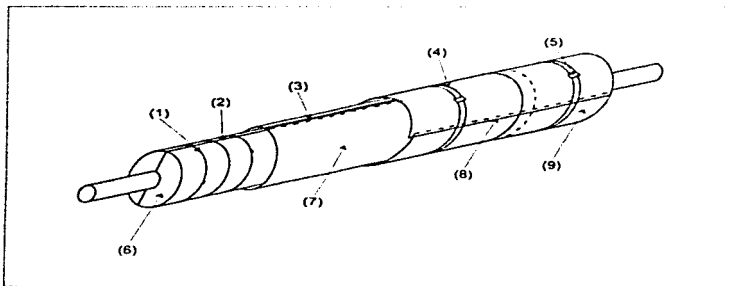
Preformado de Poliestireno
Servicio Frío



1. Alambre galvanizado cal. 16.
2. Sellador de aislamiento.
3. Sellador para barrera de vapor.
4. Fleje de aluminio de 0.020" de espesor y 3/4" de ancho.
5. Sello para fleje de aluminio.
6. Preformado de poliestireno.
7. Barrera de vapor.
8. Sellador de junta de lámina de aluminio.
9. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor.

Diagrama No. 6.2, Instalación en Tuberías

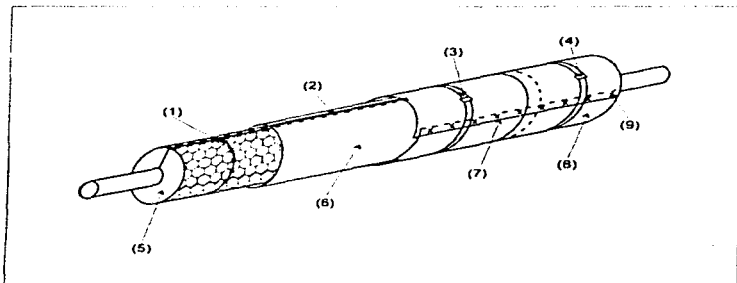
**Preformado de Poliuretano
Servicio Frío**



1. Alambre galvanizado cal. 16.
2. Sellador de aislamiento.
3. Sellador para barrera de vapor.
4. Fleje de aluminio de 0.020" de espesor y 3/4" de ancho.
5. Sello para fleje de aluminio.
6. Preformado de poliuretano.
7. Barrera de vapor.
8. Sellador de junta de lámina de aluminio.
9. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor.

Diagrama N. 6.3, Instalación en Tuberías

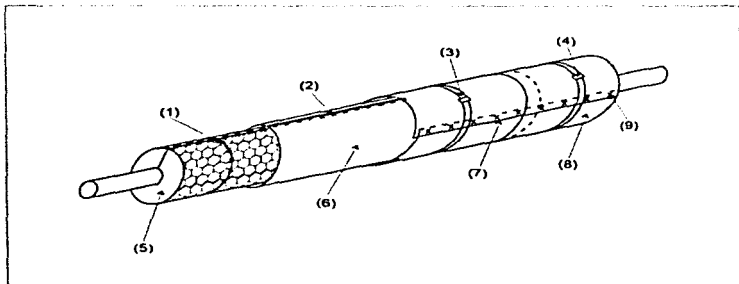
Colchoneta de Lana Mineral
Servicio Caliente



1. Alambre recocido cal 16.
2. Grapa rápida
3. Fleje de aluminio de 0.020" de espesor y 3/4" de ancho.
4. Sello para fleje de aluminio.
5. Colcha de lana mineral.
6. Cartón asfaltado.
7. Sellador de junta de lámina de aluminio.
8. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor.
9. Pijas autorroscales.

Diagrama No. 6.4, Instalación en Tuberías

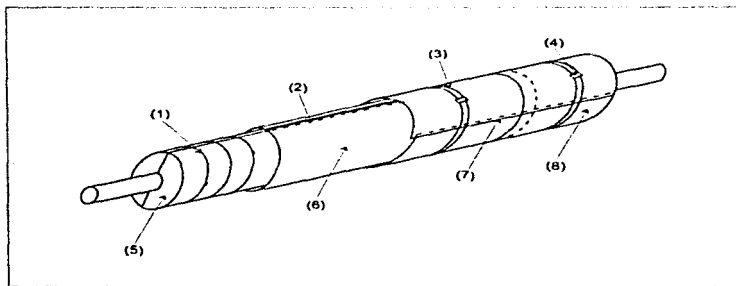
Colchoneta de Fibra de Vidrio
Servicio Caliente



1. Alambre recocido cal. 16.
2. Grapa rápida
3. Fleje de aluminio de 0.020" de espesor y 3/4" de ancho.
4. Sello para fleje de aluminio.
5. Colchoneta de fibra de vidrio
6. Cartón asfaltado.
7. Sellador de junta de lámina de aluminio.
8. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor.
9. Pijas autorroscantes.

Diagrama No. 6.5, Instalación en Tuberías

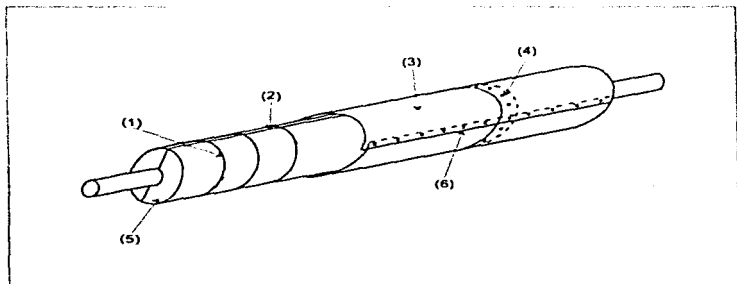
**Preformado de Fibra de Vidrio
Servicio Frio**



1. Alambre recocido cal. 16.
2. Sellador para barrera de vapor.
3. Fleje de aluminio de 0.020" de espesor y 3/4" de ancho
4. Sello para fleje de aluminio.
5. Preformado de fibra de vidrio.
6. Barrera de vapor.
7. Sellador de junta de lámina de aluminio.
8. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor.

Diagrama No. 6.6, Instalación en Tuberías

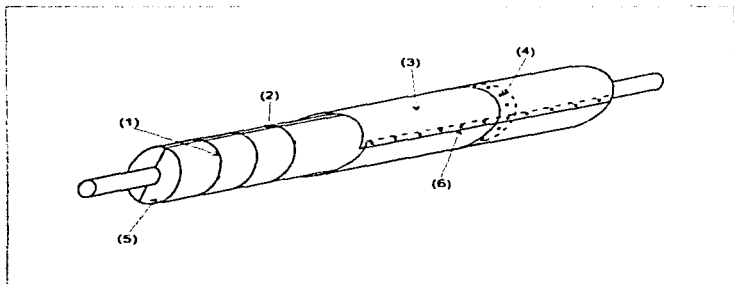
**Preformado de Silicato de Calcio
Servicio Caliente**



1. Alambre recocido cal 16
2. Sellador a base de cemento monolítico.
3. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor.
4. Pija autorroscante.
5. Preformado de silicato de calcio.
6. Sellador de junta de aluminio.

Diagrama No. 6.7, Instalación en Tuberías

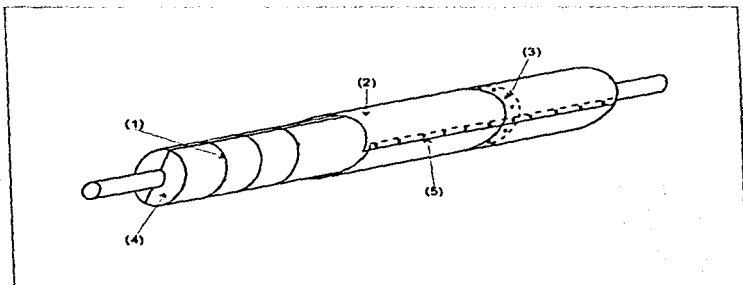
Preformado de Perlita Expandida
Servicio Caliente



1. Alambre galvanizado cal 16
2. Sellador a base de cemento monolítico.
3. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor
4. Pija autorroscante
5. Preformado de perlita expandida
6. Sellador de junta de aluminio

Diagrama No. 6.8, Instalación en Tuberías

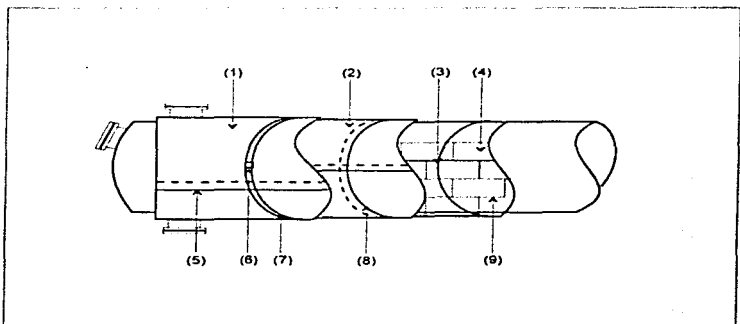
Preformado de Fibra de Vidro
Servicio Caliente



1. Alambre galvanizado cal. 16.
2. Lámina de aluminio de 0.025" de espesor.
3. Pija autorroscante.
4. Preformado de fibra de vidrio.
5. Sellador de junta de aluminio.

**Diagrama No. 6.9, Instalación en Equipo
Placas de Poliestireno**

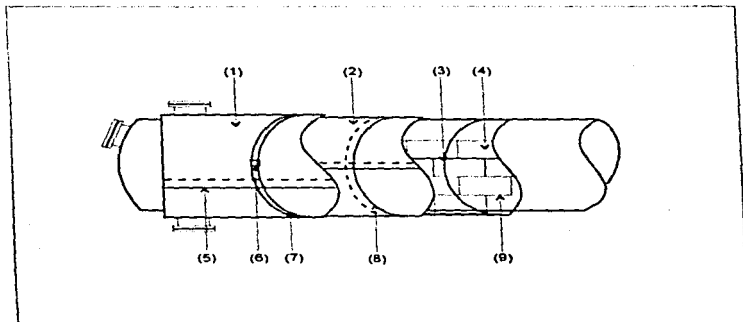
Servicio Frío



1. Lámina de aluminio.
2. Barrera de vapor.
3. Alambre galvanizado cal. 16.
4. Placas de poliestireno.
5. Sellador de junta de lámina de aluminio.
6. Sello para fleje.
7. Fleje de aluminio.
8. Sellador de poliestireno.
9. Sellador de barrera de vapor.

**Diagrama No. 6.10, Instalación en Equipo
Placas de Poliuretano**

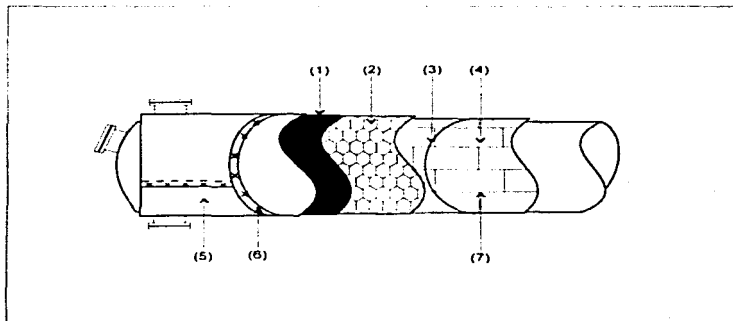
Servicio Frío



1. Lámina de aluminio.
2. Barrera de vapor.
3. Alambre galvanizado cal. 16.
4. Placas de poliestireno.
5. Sellador de junta de lámina de aluminio.
6. Sello para fleje.
7. Fleje de aluminio.
8. Sellador de poliuretano.
9. Sellador barrera de vapor.

**Diagrama No. 6.11, Instalación en Equipo
Silicato de Calcio**

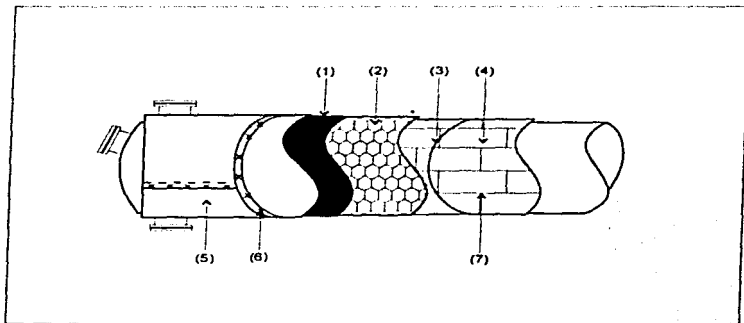
Servicio Caliente



1. Emulsión asfáltica acuosa.
2. Tela de alambre galvanizada tipo gallinero.
3. Alambre galvanizado cal 16.
4. Silicato de calcio.
5. Lámina de aluminio.
6. Pijas autorroscantes.
7. Tapajunte de cemento monolítico.

**Diagrama No. 6.12, Instalación en Equipo
Silicato de Sodio**

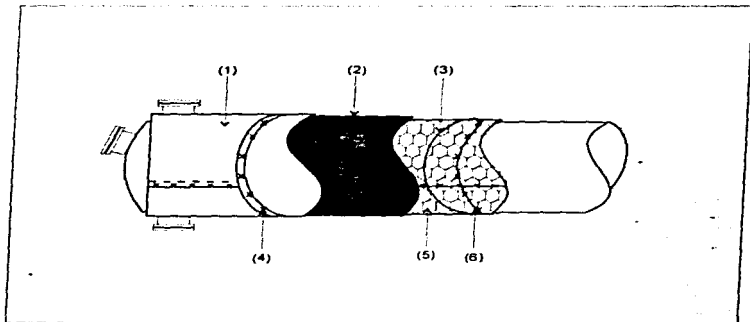
Servicio Caliente



1. Emulsión asfáltica acuosa.
2. Tela de alambre galvanizada tipo gallinero.
3. Alambre galvanizado cal. 16.
4. Silicato de sodio.
5. Lámina de aluminio.
6. Pijas autorroscantes.
7. Tapajuntes de cemento monolítico.

**Diagrama No. 6.13, Instalación en Equipo
Colchoneta de Fibra de Vidrio**

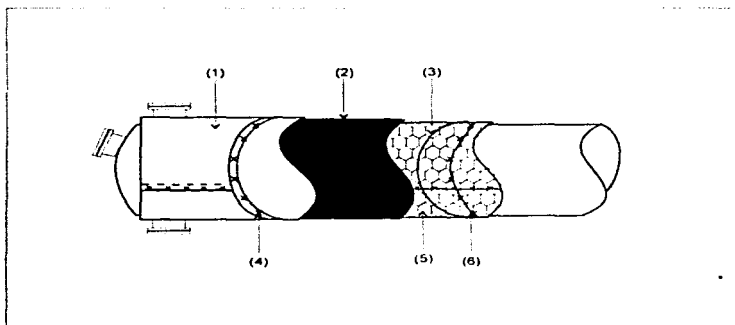
Servicio Caliente



1. Lámina de aluminio.
2. Cartón asfaltado.
3. Alambre galvanizado cal. 16.
4. Pijas autorroscantes.
5. Colcha de fibra de vidrio.
6. Alambre recocado cal. 16.

**Diagrama No. 6.13, Instalación en Equipo
Lana Mineral**

Servicio Caliente



1. Lámina de aluminio.
2. Cartón asfaltado.
3. Alambre galvanizado cal. 16.
4. Pijas autorroscantes.
5. Colcha de lana mineral.
6. Alambre recocado cal. 16.

6.12 Materiales y Accesorios de Acabado de un Aislamiento

Dependiendo de las condiciones de operación de la tubería o equipo, de si el sistema esta bajo techo o a la intemperie o si la atmósfera es corrosiva o no, de que si existe abuso mecánico, o si existe mayor humedad, dependerá del tipo de acabado a elegirse. A continuación se dan las descripciones y cantidades de los materiales y accesorios más recomendables de proceso.

1. Alambre galvanizado calibre 16 para sujetar preformado en tramos rectos, aplicar dos cinchos por tramo
2. Alambre galvanizado calibre 16 para sujetar y coser colchoneta armada, dos cinchos por tramo
3. Lámina de aluminio 3003 H-16 espesor 0.024" (0.61 mm.) en rollo de 0.914 m. de ancho, colocarla con traslape longitudinal y transversal de 2" (0.0518 m.)
4. Fleje de aluminio 1200 H-16, espesor 0.020" (0.508 mm.) y ancho de 3/4" (0.019 m.), colocar dos cinchos por cada tramo de 914 m
5. Pijas de acero cadminizado de calibre 10, largo de 3/4" (0.019 m.) con rondana metálica de ajuste y arandela de hule butilo, colocar una cada 0.15 m.
6. Cartón asfaltado de 160 gr/m², para colocarlo entre la colchoneta y la lámina de aluminio para evitar la corrosión.
7. Sello para fleje de aluminio de ancho 3/4" (0.019 m.) dos piezas por tramo de 0.914 m.
8. Cemento monolitico para acabado, compuesto de fibra de vidrio aglutinado con bentonita, espesor de capa de 1/4" (0.00635 m.).
9. Barrera de vapor, permeancia menor a 0.001 perm, colocar con traslape longitudinal y transversal de 2" (0.0508 m.).
10. Mastic barrera de vapor para sellar traslape de barrera de vapor.
11. Recubrimiento primario 100% inorgánico a base de zinc, autocurante base solvente.

Reglas y Diagramas en la Instalación de Materiales Termoaislantes.

12. Fleje de acero galvanizado de 19 mm de ancho y calibre 26 colocar dos conchos por cada tramo de 0.914 m
13. Alambre de acero al carbón calibre 20 AWG templado.
14. Alambre de acero al carbón de 1/4" (6 mm) de diámetro, para fabricar arillo sistemas de sujeción flotante
15. Malla de alambre galvanizado de tramo hexagonal con diamante de 3/4" (19 mm) para reforzar cemento monolítico o emulsión asfáltica
16. Emulsión asfáltica-acuosa tipo mastique permeable al vapor de agua
17. Malla de fibra de vidrio para reforzar mastique 10 hilos de pie y 10 hilos de trama (100 cuatros por pulgada cuadrada)
18. Fibra de vidrio suelta para relleno de juntas de expansión densidad 32 kg/m³. Temperatura limite de servicio 538 °C (811°K)
19. Lana mineral suelta para relleno de juntas de expansión densidad 96 kg/m³. Temperatura limite de servicio 640 °C (913 °K)
20. Sellador de baja permeancia a base de solventes y aceite polimerizado, 96% de sólidos, permanentemente plástico y flexible
21. Adhesivos base solvente para poliuretano tipo Duct-Fas 81-71 para pegar placas canto a canto
22. Adhesivos base acuosa para poliuretano tipo Kold-Fas 82-08, para pegar las placas de canto a canto.
23. Pernos

CAPITULO 7.

CONCLUSIONES.

7. Conclusión.

El desarrollo del presente trabajo, esta estructurado pensando en la importancia fundamental del ahorro de energéticos con el uso adecuado de los diversos materiales aislantes, en la industria en general (petroquímica, azucarera, química, acerera, farmacéutica, naviera, etc). Para un ingeniero de planta o de proceso es muy importante el ahorro de energía desde el punto de vista de su economía y uso eficiente, aquí el ingeniero encargado de seleccionar un material aislante tiene información de las características y propiedades de los diversos materiales aislantes que pueden ser aplicados en sus condiciones de proceso, como temperaturas abajo de los 37 °C (procesos en frío) o para temperaturas superiores a los 37 °C (procesos en caliente) En que aplicando un cálculo de pérdidas de calor con los diversos materiales aislantes demuestro la necesidad de utilizar un material aislante con determinado espesor, para retener la mayor cantidad de calor y una menor temperatura de superficie, y más aún demostrar que la inversión en el sistema termoaislante (aislante, material de acabado y mano de obra) es recuperable en un tiempo relativamente corto, resultado del costo del calor retenido

Una vez hecha la selección del material aislante, aquí mismo se encontraran las reglas y recomendaciones que deben tomarse en cuenta para aislar tuberías y equipos antes, durante y después de la instalación del material aislante

También se cuenta con una serie de diagramas de instalación que muestran la manera en que es recomendable instalar el material aislante seleccionado así como sus materiales de acabado y protección, dependiendo si el sistema opera a baja o alta temperatura

Con los criterios contenidos en el presente trabajo, se espera que este resulte una guía para los ingenieros y estudiantes que actualmente cursan la carrera, dado que les proporciona información práctica acerca de los materiales que se manejan en el mercado y que finalmente la selección del material aislante los lleve al ahorro de la mayor cantidad de energéticos, que como sabemos no son renovables.

CAPITULO 8.

ANEXO.

8. Anexo

Tabla 8.1. Lista de Precios de Fibra de Vidrio.

Tubería preformada en tramos de 91.4 cm (3 ft) de longitud

Diámetro		Espesores								
Pulg.	MM.	28	38	51	64	76	88	102	114	127
		1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5
3/8	13	12 14	18 19	29 29	43 28	53 74	122 17	160 43	179 69	201 21
1/2	19	13 22	22 21	31 61	51 62	63 61	124 69	161 91	180 71	202 24
1	25	13 64	24 23	34 36	54 67	66 81	132 02	172 35	188 03	210 09
1 1/2	32	14 05	26 84	37 92	56 90	71 28	136 83	175 90	191 81	214 36
1 3/4	38	15 02	28 63	40 44	62 16	74 77	137 12	176 34	198 17	221 48
2	51	19 34	32 02	45 35	67 13	79 93	101 90	180 19	222 52	246 86
2 1/4	64	25 46	38 60	45 46	79 09	103 71	142 67	180 93	226 51	255 45
3	76	29 20	41 02	51 30	78 73	106 60	133 95	164 05	251 67	275 95
4	102	30 41	41 98	60 61	81 61	104 93	114 25	145 47	261 29	303 33
5	127	34 01	48 41	70 53	97 33	121 63	187 00	228 81	291 41	335 52
6	152	41 49	56 84	80 45	106 39	134 66	165 27	198 19	309 91	359 05
8	203	55 98	70 82	99 10	129 72	162 85	197 92	235 53	357 35	421 43
10	254	69 90	85 70	118 93	154 49	192 36	232 74	275 32	424 68	481 22
12	305	73 29	99 69	137 58	177 60	220 38	265 40	312 66	471 60	531 17
14	356	77 73	108 42	149 24	192 36	237 87	285 67	335 77	527 40	591 70
16	406	141 64	122 43	167 89	215 69	265 84	373 11	495 43	577 27	648 69
18	457	158 36	136 42	187 19	239 02	293 81	476 93	548 41	624 19	701 45
20	508	150 40	205 21	436 23	454 66	520 00	598 59	683 17	763 53	
22	559	254 41	337 81	415 07	503 57	577 57	655 34	747 55	826 43	
24	610	278 76	362 67	447 55	547 60	622 41	703 74	794 69	880 08	
30	762	344 10	446 29	548 93	669 26	758 20				

Información de fabricante Junio '96.

Tabla No. 8.2, Lista de Precios de Fibra de Vidrio.

Colchonetas Armadas RW-4300

Tipo 1. Cara exterior metal desplegado, cara interior malla de gallinero

Producto	Medidas (cms)			Precio Pieza
	Espesor	Ancho	Largo	
RW-4300-1	3.8	61	244	78.87
RW-4300-1	5.1	61	244	91.55
RW-4300-1	6.4	61	244	104.73
RW-4300-1	7.6	61	244	117.83
RW-4300-1	8.9	61	244	131.41
RW-4300-1	10.2	61	244	143.02

Tipo 2. Cara exterior metal desplegado, cara interior respuntada.

Producto	Medidas (cms)			Precio Pieza
	Espesor	Ancho	Largo	
RW 4300-2	3.8	61	244	68.08
RW 4300-2	5.1	61	244	74.38
RW 4300-2	6.4	61	244	84.16
RW 4300-2	7.6	61	244	94.87
RW 4300-2	8.9	61	244	107.64
RW 4300-2	10.2	61	244	114.35

Tipo 3. Cara exterior malla de gallinero, cara interior respuntada.

Producto	Medidas (cms)			Precio Pieza
	Espesor	Ancho	Largo	
RW 4300-3	3.8	61	244	66.08
RW 4300-3	5.1	61	244	72.54
RW 4300-3	6.4	61	244	82.36
RW 4300-3	7.6	61	244	93.07
RW 4300-3	8.9	61	244	105.82
RW 4300-3	10.2	61	244	112.55

Información de fabricante Junio '96.

Tabla No. 8.3, Lista de Precios

Colcha de Lana Mineral (piezas de 61 cm. x 244 cm).

Espesor mm.	CA-96	CP-96	CA-144	CP-144	CA-192	CP-192
	\$/pz	\$/pz	\$/pz	\$/pz	\$/pz	\$/pz
25	79.21	58.67	83.54	63.21	88.09	67.32
38	88.13	71.45	96.54	64.13	105.25	79.87
51	105.25	79.87	114.12	83.87	123.03	92.44
64	118.66	88.33	131.84	100.90	140.60	109.08
76	135.80	100.90	145.18	113.44	149.48	126.00
89	149.06	113.44	162.51	126.00	166.76	138.56
102	166.85	126.00	184.43	138.56	193.33	155.20

Información de fabricante Junio '96

- CA Colchoneta Armada
 CP Colchoneta Pespuntada
 96 kg/m³
 144 kg/m³
 192 kg/m³

Tabla No. 8.4, Lista de Precios

Preformado de Silicato de Sodio (Piezas de 914 mm. de largo)

Diámetro In	mm	1.0" Esp	1.5" Esp	2.0" Esp	2.5" Esp	3.0" Esp	3.5" Esp	4.0" Esp
		25 mm	38 mm	51 mm	64 mm	76 mm	89 mm	102 mm
½"	13	20.94	24.99	39.04	49.04	72.31	107.40	142.31
¾"	19	22.55	28.57	40.14	52.43	74.69	107.40	142.31
1"	25	22.03	29.71	43.36	57.60	70.08	113.87	144.42
1 ¼"	31	23.08	33.50	51.74	59.99	70.99	112.28	146.19
1 ½"	38	26.41	35.49	52.98	64.38	82.86	118.69	158.31
2"	51	30.42	39.60	55.48	63.65	84.15	128.95	165.28
2 ½"	64	32.08	41.27	63.53	75.31	98.04	144.09	182.81
3"	78	33.49	44.46	60.46	74.57	96.00	144.96	181.57
4"	102	36.69	47.91	71.15	90.60	124.97	155.70	213.83
5"	127	39.84	53.67	71.00	113.66	127.15	184.41	232.81
6"	152	47.82	63.54	99.02	134.08	161.80	227.72	270.19
8"	203	N. Disp.	86.58	125.70	159.15	190.76	259.45	306.25
10"	254	N. Disp.	105.71	152.11	189.57	225.34	322.66	378.54
12"	305	N. Disp.	140.90	170.25	216.72	265.04	368.07	396.01
14"	356	N. Disp.	167.65	194.25	243.91	298.91	402.33	431.27
16"	406	N. Disp.	181.18	215.30	277.44	330.25	446.52	487.73
18"	457	N. Disp.	203.72	235.38	299.35	363.05	486.88	526.71
20"	508	N. Disp.	246.10	273.34	344.35	418.43	566.86	579.32

Información de fabricante Junio '96.

Tabla No. 8.5, Costo de Materiales de Acabado.

Lámina de aluminio	28.00/kg.
Alambre galvanizado	8.00/kg.
Fleje de aluminio	62.00/kg.
Cartón de asfalto	63.00/rollo
Pijas	0.90/pza.
Cemento monolítico	3.00/pza.
Sello Galvanizado para fleje	.30/pza.

Costo de Mano de Obra (Instalación del sistema termoaislante).

De 1 a 5 m. sobre nivel de piso y tramo lineal.

Preformado de fibra de vidrio	15.00 metro lineal
Preformado de silicato de sodio	23.00 metro lineal
Colchoneta de fibra de vidrio 48 kg/m ³	30.00 metro lineal
Colchoneta de lana mineral	35.00 metro lineal
Costo del vapor producido	40.48 MM BTU

Información de fabricante e instalador Junio '96.

Tabla No. 8.6, Pérdidas de Calor de Tuberías sin Aislar.

(En BTU/ft.hr. - Aire ambiente y viento a 80 °F)

Medida nominal de la tubería en pulgadas	Diferencia de temperaturas entre el aire y la tubería en °F									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1/4	55	136	247	394	581	820	1120	1482	1929	2469
3/8	67	167	304	483	716	1013	1381	1835	2391	3064
1	82	206	373	595	884	1252	1709	2275	2967	3805
1 1/4	102	255	464	741	1103	1585	2139	2851	3722	4778
1 1/2	115	289	526	811	1252	1780	2434	3247	4242	5448
2	141	355	647	1036	1548	2199	3013	4022	5260	6761
2 1/2	188	423	773	1240	1853	2639	3619	4945	6330	8141
3	202	502	930	1493	2234	3186	4373	5850	7663	9863
3 1/2	228	575	1052	1691	2533	3616	4968	6649	8714	11222
4	255	642	1176	1892	2836	4051	5570	7458	9780	12699
4 1/2	281	708	1298	2090	3137	4481	6164	8258	10834	13962
5	310	782	1435	2312	3472	4965	6834	9161	12022	15500
6	364	920	1691	2728	4100	5870	8075	10848	14248	19763
8	464	1178	2169	3506	5280	7570	10443	14024	18436	23801
10	572	1447	2668	4318	6512	9350	12912	17355	22833	29500
12	671	1699	3137	5086	7675	11031	15243	20505	26993	34891
14	731	1851	3419	5544	8374	12042	16649	22403	29502	38143
16	828	2098	3877	6294	9514	13692	18941	25199	33597	43451
18	928	2348	4344	7059	10672	15374	21277	28660	37775	48873
20	1022	2592	4797	7800	11806	17009	23554	31742	41848	54161
22	1117	2835	5250	8539	12935	18642	25829	34817	45917	59439
24	1213	3078	5706	9286	14071	20291	28122	37917	50023	64771

Tabla No. 8.7, Espesores equivalentes para tuberías.

Medida de tubería de hierro	Diámetro de la tubería	Radio interior del aislamiento								
		1/2 (Pulg)	3/4 (Pulg)	1 (Pulg)	1 1/4 (Pulg)	2 (Pulg)	2 1/2 (Pulg)	3 (Pulg)	4 (Pulg)	
1/4	0.540	0.270	0.81	1.58	3.32	4.84	6.45	8.13	9.95	11.70
1/2	0.875	0.337	0.78	1.64	3.12	4.53	6.04	7.64	9.32	11.05
3/4	0.940	0.420	0.72	1.73	2.92	4.23	5.61	7.18	8.74	10.30
1	1.050	0.525	0.66	1.83	2.73	3.95	5.29	6.73	8.21	9.73
1 1/4	1.315	0.687	0.65	1.52	2.57	3.72	4.95	6.29	7.65	9.12
1 1/2	1.660	0.830	0.63	1.45	2.40	3.45	4.53	5.65	7.14	8.50
2	2.375	1.187	0.59	1.33	2.21	3.16	4.17	5.28	6.47	7.62
2 1/2	2.875	1.437	0.58	1.27	2.08	2.99	3.95	4.98	6.07	7.23
3	3.500	1.750	0.56	1.24	2.02	2.85	3.78	4.75	5.78	6.84
3 1/2	4.000	2.000	0.50	1.22	1.95	2.76	3.64	4.60	5.56	6.60
4	4.500	2.250	0.50	1.19	1.81	2.71	3.58	4.48	5.41	6.38
4 1/2	5.000	2.500	0.54	1.18	1.88	2.68	3.45	4.35	5.28	6.24
5	5.563	2.781	0.54	1.17	1.84	2.58	3.38	4.28	5.15	6.03
6	6.625	3.312	0.53	1.13	1.78	2.50	3.25	4.10	4.91	5.76
7	7.625	3.812	0.53	1.12	1.75	2.44	3.22	3.95	4.75	5.62
8	8.625	4.312	0.53	1.11	1.74	2.40	3.13	3.88	4.61	5.46
9	9.625	4.812	0.53	1.10	1.70	2.38	3.07	3.75	4.52	5.29
10	10.750	5.375	0.52	1.08	1.68	2.34	3.05	3.70	4.44	5.22
12	12.750	6.375	0.52	1.08	1.68	2.33	3.00	3.63	4.32	5.06
14	14.000	7.000	0.52	1.07	1.65	2.26	2.90	3.56	4.26	4.97
16	16.000	8.000	0.52	1.06	1.63	2.23	2.85	3.50	4.17	4.88
18	18.000	9.000	0.51	1.05	1.62	2.21	2.82	3.45	4.10	4.78
20	20.000	10.000	0.51	1.05	1.61	2.19	2.80	3.41	4.05	4.71
24	24.000	12.000	0.51	1.04	1.56	2.16	2.74	3.39	3.98	4.60

Nomograma No. 8.1, Determinación del punto de rocío.

Propiedades del aire húmedo.

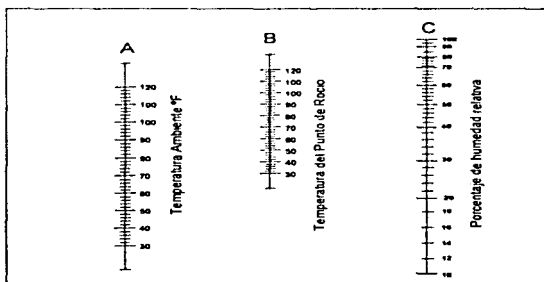


Tabla No. 8.8, Unidades y Factores de Conversión.

Cantidad Calor (Unidad = Joule)

	J	Kcal	BTU
1 Joule (J)	1	2388×10^{-4}	$9\ 478 \times 10^{-4}$
1 Kilocaloría (Kcal)	4,186.8	1	3.968
1 Unidad Térmica Británica	1,055	0.2520	1

Notas:

- 1 Therm = 100,000 BTU = 105.5 Megajoules.
- La kilocaloría está basada en la tabla internacional de caloría (International Table Calorie).

Tabla No. 8.9, Transmisión Térmica (unidad =Watt).

	W	Cal/s	Kcal/h	BTU/h
1 W	1	0.2388	0.8598	3.412
1 Cal/s	4.1868	1	3.6	14.29
1 Kcal/h	1.163	0.2778	1	3.968
1 BTU/h	0.2931	7.000×10^{-2}	0.2520	1

Tabla No. 8.10, Conductividad Térmica (Unidad = Watt/m² de espesor y un diferencial de temperatura de un Kelvin (W/(m-K))).

	$\frac{W}{m-K}$	$\frac{J-cm}{cm^2-s \text{ } ^\circ C}$	$\frac{Cal-cm}{cm^2-s \text{ } ^\circ C}$	$\frac{Kcal-cm}{m^2-h \text{ } ^\circ C}$	$\frac{BTU-ft}{ft^2-h \text{ } ^\circ F}$	$\frac{BTU-in}{ft^2-h \text{ } ^\circ F}$
1 $\frac{W}{m-K}$	1	0.01	$\frac{2.338}{\times 10^3}$	0.8598	0.5778	6.933
1 $\frac{J-cm}{cm^2-s \text{ } ^\circ C}$	100	1	0.2388	85.98	0.5778	6.933
1 $\frac{Cal-cm}{cm^2-s \text{ } ^\circ C}$	418.68	4.1868	1	360	241.9	2.903
1 $\frac{Kcal-cm}{m^2-s \text{ } ^\circ C}$	1.163	$\frac{1.163}{\times 10^3}$	$\frac{2.778}{\times 10^3}$	1	0.6720	8.064
1 $\frac{BTU-ft}{ft^2-h \text{ } ^\circ F}$	1.731	$\frac{1.731}{\times 10^2}$	$\frac{4.134}{\times 10^3}$	1.488	1	12
1 $\frac{BTU-ft}{ft^2-h \text{ } ^\circ F}$	0.1442	$\frac{1.442}{\times 10^3}$	$\frac{3.445}{\times 10^4}$	0.1240	$\frac{8.333}{\times 10^{-2}}$	1

Resistividad Térmica (Unidad = Metro Kelvin por Watt).

La resistividad térmica es el recíproco de la conductividad térmica.

Tabla No. 8.11, Conductancia Térmica, transmitancia térmica, coeficiente de superficie, coeficiente de convección y coeficiente de radiación.
 (Unidad = Watt/m² por diferencia kelvin de temperatura (W/(m².K))).

	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	$\frac{J}{cm^2 \cdot s \cdot ^\circ C}$	$\frac{Cal}{cm^2 \cdot s \cdot ^\circ C}$	$\frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	$\frac{BTU}{ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F}$
1 $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	1	10 ⁻⁴	2.388 x 10 ⁻⁵	0.8596	0.1761
1 $\frac{J}{cm^2 \cdot K}$	10.000	1	0.2388	8.598	1.761
1 $\frac{Cal}{cm^2 \cdot s \cdot ^\circ C}$	41,868	4.1868	1	36,000	7.373
1 $\frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C}$	1.163	1.163 x 10 ⁻⁴	2.778 x 10 ⁻⁵	1	0.2048
1 $\frac{BTU}{ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F}$	5.678	5.678 x 10 ⁻⁴	1.356 x 10 ⁻⁴	4.882	1

Resistencia térmica, resistencia térmica total y resistencia de superficie.

La resistencia térmica, resistencia térmica total y resistencia de superficie son recíprocos de la conductancia térmica, transmitancia térmica y coeficiente de superficie respectivamente. La unidad es metro cuadrado kelvin por watt.

Capacidad calorífica por unidad de masa (Unidad = Joule por kilogramo por kelvin, (J/(kg.K))).

4,186.8 J / (kg.K) = 4.1868 J / (g.K) = 1 Kcal / (kg.K) = 1 BTU / (lb.°F).

Tabla No. 8.12, Capacidad de calor por unidad de volumen (unidad = Joule por metro cúbico por kelvin (J/(m³.K))).

	J/(m ³ .K)	KJ/(m ³ .°C)	J/(cm ³ .°C)	Cal/(cm ³ .°C)	Kcal/(m ³ .°C)	BTU/(ft ³ .°F)
1 J/(m ³ .K)	1	10 ⁻³	10 ⁶	2 388 x 10 ⁻⁷	2 388 x 10 ⁻³	1 491 x 10 ⁻⁶
1 KJ/(m ³ .°C)	1.000	1	10 ³	2 388 x 10 ⁻⁴	0 2388	1 491 x 10 ⁻²
1 J/(cm ³ .°C)	10 ⁶	1.000	1	0 2388	238 8	14 91
1 Cal/(cm ³ .°C)	4 1868 x 10 ⁻⁶	4,186 8	4,1868	1	1.000	62 43
1 Kcal/(m ³ .°C)	4,186 8	4,1868	4,1868 x 10 ⁻³	10 ⁻³	1	6 243 x 10 ⁻²
1 BTU/(ft ³ .°F)	67.070	67 07	6 707 x 10 ⁻²	1 605 x 10 ⁻²	16 02	1

Difusividad térmica (Unidad = metro cuadrado sobre segundo, (m²/s)).

Tabla No. 8.13, La difusividad térmica es el resultado de dividir la conductividad térmica sobre la capacidad térmica.

	m ² /s	cm ² /s	m ² /h	ft ² /h	in ² /h
m ² /s	1	10.000	3.600	38.750	5.58x10 ⁻⁶
cm ² /s	10 ⁻⁴	1	0 36	3 875	558.0
m ² /h	2.778x10 ⁻⁴	2.778	1	10 76	1,550
ft ² /h	2.581x10 ⁻⁵	0.2581	9.290x10 ⁻²	1	144
in ² /h	1.792x10 ⁻⁷	1.792x10 ⁻³	6.542x10 ⁻⁴	6.944x10 ⁻³	1

Capitulo 9.

Bibliografia.

9. Bibliografía.

1. John F. Malloy
Thermal Insulation
Van Nastrand Reinhold Environmental Engineering Series.
1970, pag 534
2. Jules L. Abramovitz and, Rene Cordero
How To Select Insulation Thickness For Hot Pipes
Chemical Engineering
July 21, 1975, pag 88-96
3. Roblee B. Martin
Guide To Better Insulation Chemical Engineering.
Chemical Engineering
May 12, 1975, pag 98-100
4. P. R. Greenberg
Calculating Piping Heat Loss And Insulation Thickness
Hydrocarbon Processing
July 1987, pag 40-41
5. Ramiro de la Torre G
Manual de Entrenamiento en Aislamientos Termoacústicos
de Fibra de Vidrio
Editorial Abeja, S A
1976, pag 3-33
6. Nacional Commercial And Industrial Insulation Standards.
Published By Midwest Insulation Contractors Association.
1993 Fourth Edition, pag 1-295
7. V. Mitchell Liss.
Preventing Corrosion Under Insulation
Chemical Engineering
March 16, 1987, pag 97-100
8. Aislamientos Térmicos para Alta Temperatura.
Norma Para Proyectos
Petroleos Mexicanos 1991, pag 1-40
9. Joaquín Ocon García, Gabriel Tojo Barreiro
Problemas De Ingeniería Química.
Editorial Aguilar
1978, pag 1-410