



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLAN

**SELECCION, APLICACION Y EVALUACION DE AISLANTES
TERMICOS PARA ALTAS TEMPERATURAS EN LA INDUSTRIA**

T E S I S

**Que para obtener el Titulo de
Ingeniero Mecánico Electricista**

P r e s e n t a n

JOSE GUILLERMO MARTINEZ

RENE SAAVEDRA PINAL

Asesor: Ing. JESUS REYES ZUÑIGA



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 está 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.

NOMENCLATURA

		SI	Inglés
Q	Flujo de calor	W	BTU/h
K	Conductividad térmica	W/m °C	BTU/h.pie.°F
K _m	Conductividad media	W/m °C	BTU/h.pie.°F
A	Área de superficie	m ²	pie ²
q	Flujo de calor por - unidad de área	W/m ²	BTU/h.pie ²
dt	Gradiente de temperatura		
dx	Espesor del material		
K ₀	Conductividad térmica cuando t = 0		
B	Coefficiente de temperatu <u>r</u> ra de la conductividad térmica obtenida experi- mentalmente		
t ₁ y t ₂	Temperaturas extremas - del material en la cara caliente y fría respecti <u>v</u> amente donde t ₁ > t ₂	°C	°F
h _c	Coefficiente de calor por convección	W/m ² °C	BTU/h.pie ² .°F
h _r	Coefficiente de calor por radiación	W/m ² °C	BTU/h.pie ² .°F
e	Emisividad		

I N D I C E

	PAG
I Introducción	7 - 8
II	
1. Fundamentos de transferencia de calor .	9
1.1 Definición de calor	9
1.2 Tipos de transferencia de calor ...	9
1.2.1 Conducción	9 - 21
1.2.2 Convección	22 - 23
1.2.3 Radiación	24 - 28
2. Definición de aislamiento térmico	29 - 30
2.1 Tipos de aislamientos térmicos	30 - 31
2.2 Formas del aislamiento térmico	31 - 34
2.3 Propiedades generales de los aisla- mientos térmicos	35 - 38
2.4 Propiedades generales de cementos - aislantes	38 - 39
2.5 Materiales de acabado	40 - 41
2.6 Clasificación de los materiales - aislantes	42 - 43
3. Diseño del sistema aislante	44 - 45
3.1 Determinación de las funciones que debe cumplir el sistema	45 - 46

	PAG
3.2 Condiciones de operación y requerimientos del equipo	46 - 49
3.2.1 Requerimientos del equipo ...	49 - 54
3.3 Selección de los componentes del sistema	55
3.3.1 Material aislante	55 - 60
3.4 Evaluación económica del sistema ..	60
3.4.1 En superficies planas	61 - 63
3.4.2 En superficie cilíndrica	64 - 66
Ejemplo	67 - 91
3.5 Aplicación del sistema aislante ...	91
3.5.1 Condiciones para la instalación del aislamiento	92 - 93
3.5.2 Accesorios	93 - 94
3.5.3 Aplicación en tuberías	94 - 99
3.5.4 Válvulas, bridas y conexiones de tuberías	99 - 105
3.5.5 Depósitos y tanques	105 - 115
3.5.6 Aplicación en equipos térmicos	115 - 125
 III Conclusiones y recomendaciones	 126 - 127
IV Bibliografía	128 - 130
V Apéndice	131 - 167

INDICE DE FIGURAS

	PAG
Perfil de temperaturas	12
Perfil de temperaturas	13
Perfil de temperaturas	15
Pared cilíndrica compuesta	17
Perfil de temperaturas	19
Perfil de temperaturas	20
Aislamiento rígido	32
Aislamiento semirígido	33
Aislamiento flexible	34
Cementos	39
Gráfica del comportamiento anual del combustible.	66
Gráfica de optimización del aislante	86
Aplicación de la cinta aislante	98
Tubería con brida, válvulas y venas de vapor	100
Piezas acopladas por secciones para formar cubier tas de aislante a 90°	102
Piezas compuestas de aislamiento para válvulas y bridas	103
Aplicación del cemento aislante	104
Aislamiento de tapas en tanques o depósitos	107
Detalle de la sujeción de aislamiento y su acaba- do en recipientes verticales calientes	108
Aislamiento de tapas de recipientes	110
Aislamiento del faldon	111

Bloques de magnesia al 85% con tejido de alambre listos para recibir la capa final de cemento de amianto	112
Método para aislar tanques y torres verticales .	114
Aplicación de la espuma aislante de uretano	116
Aislación preformada con registros para fácil - acceso al equipo, que requiere constante limpieza o mantenimiento	118
Detalle de instalación de lana mineral o fibra - de vidrio sobre superficies planas	121
Método para asegurar con alambre el aislante en bloques a superficies metálicas planas	123
Croquis de la pared en un horno	126

I INTRODUCCION

En esta tesis no se pretende dar información de algo nuevo, si no más bien, dar a conocer la importancia que tienen los aislamientos y sus acabados para un mejor aprovechamiento de la energía, siempre y cuando se valoren los materiales que deseen instalarse adecuadamente dependiendo de sus necesidades, juicios y ganancias.

Siendo que los procesos industriales requieren de temperaturas diferentes a las ambientales obtenidas en forma artificial. El lograr dicha condición de temperatura presupone un costo y un consumo de energía. Una vez alcanzada la temperatura deseada se debe mantener el mayor tiempo posible y disminuir el intercambio de calor con el ambiente, lo cual se logra mediante los materiales que conocemos como aislamientos.

No resulta económico, ni es físicamente posible evitar completamente la fuga de calor, pero si disminuirla sensiblemente.

Para un mejor entendimiento sobre aislamientos térmicos se analiza en el Capítulo I la transferencia de calor, que permite conocer el mecanismo térmico y sus ecuaciones principales.

La ciencia de la transferencia de calor en base a observaciones empíricas ha definido, que el calor se transmite de tres formas generalmente llamadas: conducción, convección y radiación.

En relación a los aislamientos térmicos, la transmisión por conducción representa el principal medio de transferencia térmica, sin embargo para altas temperaturas es necesario tomar en cuenta otros mecanismos de transferencia, con el objeto de lograr un mejor aprovechamiento del aislamiento.

El objetivo principal del aislamiento térmico es ofrecer resistencia al flujo de calor para reducir las pérdidas del mismo.

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.

Por otra parte en el Capítulo 2 se menciona su definición, tipos y formas de los aislamientos térmicos, así como sus propiedades y clasificación.

Además, en el Capítulo 3 se lleva a cabo el diseño de un sistema aislante ejemplificándolo y valorándolo en forma práctica.

II

1. Fundamentos de transferencia de calor

1.1 Definición de calor

Calor es una forma de energía que no se puede determinar directamente sólo a través de sus efectos, en este caso la temperatura.

El calor se presenta cuando existe un desequilibrio de temperatura en un sistema ocasionado por una reacción, que tiende a lograr un equilibrio térmico en el mismo, cuando esto sucede, el calor se transmite de mayor a menor temperatura en forma natural.

1.2 Tipos de transferencia de calor

Se estudiará los tres tipos de transferencia (conducción convección y radiación) y se establecerán las ecuaciones que los definen.

1.2.1 Conducción

Se realiza en un cuerpo de diversos modos, según sea el estado de la materia en el cuerpo. El calor no se transmite de igual forma en sólidos, líquidos o gases.

En sólidos el fenómeno se realiza en dos formas: vibración reticular y transporte de electrones libres. El prime

ro se efectúa en la estructura reticular del material, esta transferencia térmica es de baja capacidad respecto a la siguiente. En segundo término el intercambio de energía por transporte de electrones libres se lleva a cabo de una manera similar a el transporte de carga eléctrica, cuando los electrones quedan libres de la estructura reticular.

La conducción en los líquidos, como en los gases, tiene lugar con la existencia de un gradiente de temperatura. Sin embargo, si en los gases la transmisión de energía se realiza durante el choque de las partículas que realizan movimientos de traslación, en los líquidos la energía se transmite en el proceso de choque de las partículas oscilantes. Las partículas con mayor energía realizan oscilaciones de mayor amplitud y durante los choques con otras partículas parece ser como si las excitaran entregándoles su energía.

La conducción de calor en un medio homogéneo se puede expresar a través de la Ley de Fourier del modo siguiente:

$$Q = - k A \frac{dt}{dx}$$

El signo menos indica que el calor debe fluir de una zona de mayor a una de menor temperatura. La ecuación expresa que el flujo de calor a través de un área es proporcional al gradiente normal de temperaturas e inversamente proporcional al espesor del cuerpo, siendo k la conductividad térmica.

Se considerará que en los aislamientos, la transferencia de calor se realiza en régimen permanente y en forma unidireccional, pero además su conductividad térmica varía con la temperatura, por lo que es necesario tomar en cuenta dicha variación en los cálculos de transmisión térmica.

Cuando la conductividad varía en forma lineal según la función:

$$K(t) = k_0 (1 + Bt)$$

Se determina una conductividad media (k_m) como sigue:

$$k_m = k_0 \left(1 + B \frac{t_1 + t_2}{2} \right)$$

La determinación de la conductividad media requiere de datos experimentales, por lo que no es muy factible utilizarla en la práctica; sin embargo, cuando la conductividad varía linealmente con la temperatura, es posible utilizar el valor de la conductividad para una temperatura media como k_m , siendo la temperatura media (t_m), el promedio de las temperaturas en las superficies limitantes.

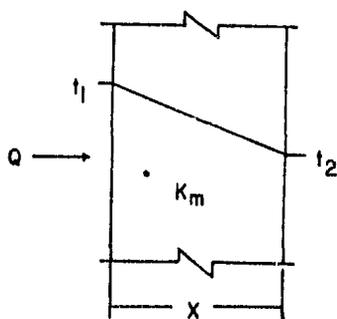
$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Esta aproximación no implica errores apreciables en los resultados finales y en cambio si facilita los cálculos. Por lo tanto la ecuación de transferencia de calor quedaría del modo siguiente:

$$q = \frac{Q}{A} = -k_m \frac{dt}{dx} \quad \dots\dots (1)$$

Conducción de calor a través de una pared plana.-

Sea una pared plana de espesor X y temperaturas superficiales t_1 y t_2 , en la que se muestra el perfil de caída de temperaturas.



Perfil de temperaturas

FIG (1)

El flujo de calor a través de la pared puede determinarse por medio de la ecuación de Fourier del modo siguiente:

$$q = \frac{Q}{A} = k_m \left(\frac{t_1 - t_2}{X} \right) \dots\dots (2)$$

Pared plana compuesta.-

Está compuesta por varias capas de aislantes y conductividades diferentes. En la siguiente figura se muestra los diferentes perfiles de caída de temperaturas:

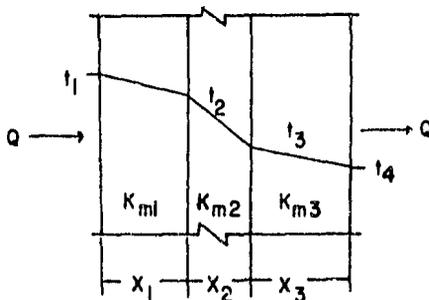


FIG (2)

La transferencia de calor se determina del modo siguiente, a partir de la ecuación (1):

$$q_1 = k_{m_1} \left(\frac{t_1 - t_2}{X_1} \right)$$

$$q_2 = k_{m_2} \left(\frac{t_2 - t_3}{X_2} \right)$$

$$q_3 = k_{m_3} \left(\frac{t_3 - t_4}{X_3} \right)$$

Las anteriores ecuaciones, definen la transferencia térmica para cada componente de la pared; donde el flujo de calor se mantiene constante a través de una área igualmente constante, esto es:

$$\frac{Q \text{ constante}}{A \text{ constante}} = q_1 = q_2 = q_3 = q$$

Despejando los gradientes de temperatura en cada ecuación y sumándolas queda:

$$\frac{q \cdot X_1}{k_{m_1}} + \frac{q \cdot X_2}{k_{m_2}} + \frac{q \cdot X_3}{k_{m_3}} = (t_1 - t_2) + (t_2 - t_3) + (t_3 - t_4)$$

Despejando q y reduciendo términos se tiene:

La ecuación de transferencia de calor para una pared compuesta.

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{k_{m_1}}{X_1} + \frac{k_{m_2}}{X_2} + \frac{k_{m_3}}{X_3}} \quad \text{Watt/m}^2; \text{ (BTU/h.pie}^2\text{)}$$

..... (3)

ó:

$$Q = \frac{A (t_1 - t_4)}{\frac{k_{m1}}{x_1} + \frac{k_{m2}}{x_2} + \frac{k_{m3}}{x_3}} \quad \text{Watts; (BTU/h)} \quad \dots\dots (4)$$

De lo anterior se pueden comparar varios arreglos de -
aislamiento compuesto, modificando conductividades y espesores.

Conducción de calor a través de una pared cilíndrica.--

Se realiza de modo radial por lo que el área de transferencia no se mantiene constante y varía en función del radio. A continuación se presenta un cuerpo cilíndrico con ciertas especificaciones que permitirán determinar la ecuación de transferencia térmica.

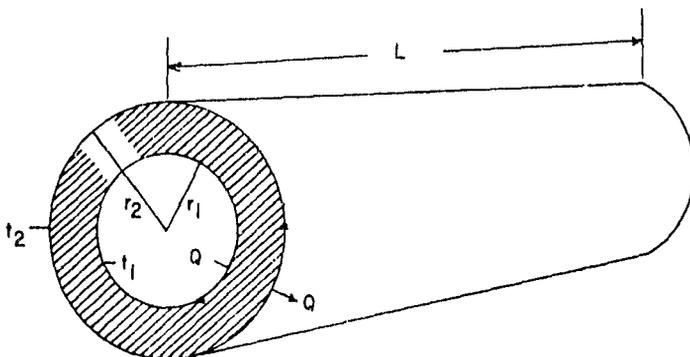


FIG (3)

Siendo:

- r_1 .- El radio interior del cilindro, expresado en m; (pie).
 r_2 .- El radio exterior, expresado en m; (pie).
 L .- La longitud del cuerpo, en m; (pie).
 t_1 .- La temperatura de la cara interior del cilindro, en $^{\circ}\text{C}$; ($^{\circ}\text{F}$).
 t_2 .- La temperatura de la superficie exterior, en $^{\circ}\text{C}$; ($^{\circ}\text{F}$).
 k .- Conductividad media del material expresado en Watt/m . $^{\circ}\text{C}$; (BTU/pie . $^{\circ}\text{F}$).

La ecuación de transferencia térmica para una pared cilíndrica es:

$$Q = \frac{k_m (2 \pi r_2 L)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (t_1 - t_2) \text{ Watt; (BTU/h)} \dots\dots (5)$$

Pared cilíndrica compuesta.-

En la práctica se presentan diversos problemas de aislamiento, con capas múltiples de aislante sobre una superficie cilíndrica, donde se requiere calcular la rapidez del flujo de calor. En estos casos, el flujo térmico, además de ser unidimensional y en dirección radial, se mantiene constante a través de las capas como se muestra en la figura:

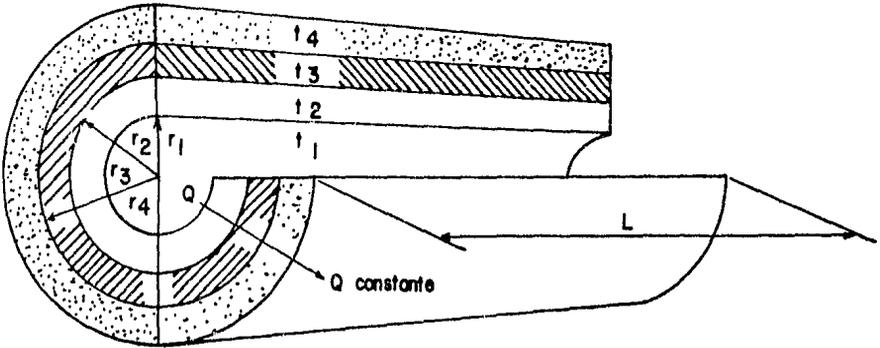


FIG (4)

Por lo que aplicando la ecuación (5), para cada capa se tiene lo siguiente:

$$Q_1 = \frac{k_{m1} (2\pi \cdot L)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (t_2 - t_1)$$

$$Q_2 = \frac{k_{m_2} (2 \pi \cdot L)}{\ln \frac{r_3}{r_2}} (t_3 - t_2)$$

$$Q_3 = \frac{k_{m_3} (2 \pi \cdot L)}{\ln \frac{r_4}{r_3}} (t_4 - t_3)$$

Despejando los gradientes de temperatura, en cada ecuación y sumándolas se tiene:

$$\frac{Q_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi k_{m_1} \cdot L} + \frac{Q_2 \ln \frac{r_3}{r_2}}{2 \pi k_{m_2} \cdot L} + \frac{Q_3 \ln \frac{r_4}{r_3}}{2 \pi k_{m_3} \cdot L} =$$

$$(t_1 - t_2) + (t_2 - t_3) + (t_3 - t_4)$$

Considerando que el flujo de calor es constante se despeja Q y se reducen términos para obtener la ecuación de transferencia térmica para una pared compuesta cilíndrica.

$$\frac{2 \pi L (t_1 - t_4)}{\frac{1}{k_{m_1}} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{k_{m_2}} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{k_{m_3}} \ln \frac{r_4}{r_3}}$$

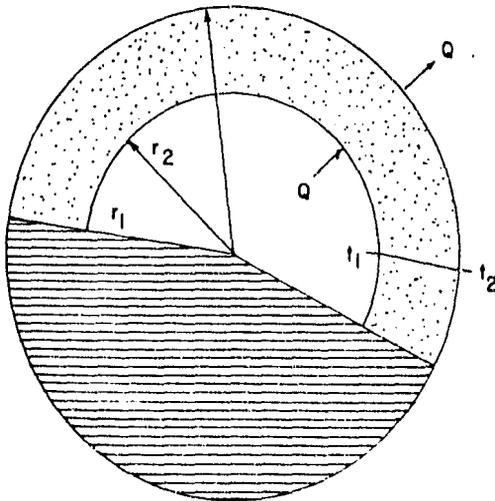
Expresada en Watts; (BTU/h)

..... (7)

Conducción de calor a través de una pared esférica.-

En la industria se presentan casos de aislamiento en sistemas esféricos y semiesféricos, tales como: depósitos, calderas, intercambiadores, etc..

Suponiendo una pared esférica de radio interior r_1 , radio exterior r_2 , temperatura interior t_1 , temperatura exterior t_2 y donde el flujo de calor se realiza en forma radial y unidimensional a través de la pared como se ve en la figura:



Perfil de temperaturas

FIG (5)

Sabiendo que el área de la esfera es $A = 4\pi r^2$ y aplicando la ecuación de Fourier, se tiene la ecuación para una pared esférica:

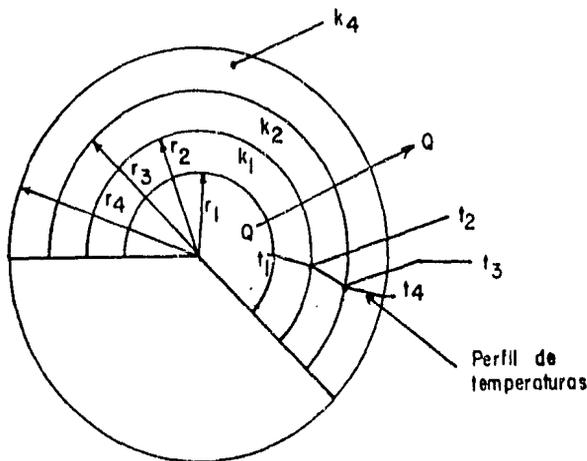
$$Q = \frac{4\pi k_m (r_1 \cdot r_2)}{r_2 - r_1} (t_2 - t_1)$$

Expresada en Watts; (BTU/h) (7)

Pared esférica compuesta.-

Es de gran aplicación en la industria, por lo que se deducirá una ecuación de transferencia para este caso.

El flujo de calor se mantiene constante a través de cada capa en dirección radial y en el sentido mostrado como sigue:



Perfil de temperaturas

FIG (6)

Aplicando la ecuación (7) para determinar la transferencia de calor a través de cada capa, se tiene lo siguiente:

$$Q = \frac{4\pi k_{m_1} (r_1 \cdot r_2)}{r_2 - r_1} (t_1 - t_2)$$

$$Q = \frac{4\pi k_{m_2} (r_2 \cdot r_3)}{r_3 - r_2} (t_2 - t_3)$$

$$Q = \frac{4\pi k_{m_3} (r_3 \cdot r_4)}{r_4 - r_3} (t_3 - t_4)$$

Despejando los gradientes de temperaturas en cada ecuación y sumándolas resulta lo siguiente:

$$\frac{Q}{4\pi} \left(\frac{r_2 - r_1}{k_{m_1} (r_1 \cdot r_2)} + \frac{r_3 - r_2}{k_{m_2} (r_2 \cdot r_3)} + \frac{r_4 - r_3}{k_{m_3} (r_3 \cdot r_4)} \right) = (t_1 - t_2) + \dots + (t_2 - t_3) + (t_3 - t_4)$$

Finalmente despejando Q de la ecuación anterior y reduciendo términos, se tiene a la ecuación buscada:

$$Q = \frac{4\pi (t_1 - t_4)}{\frac{r_2 - r_1}{k_{m_1} (r_1 \cdot r_2)} + \frac{r_3 - r_2}{k_{m_2} (r_2 \cdot r_3)} + \frac{r_4 - r_3}{k_{m_3} (r_3 \cdot r_4)}}$$

Expresada en Watts; (BTU/h) (8)

1.2.2 Convección

Todo equipo o sistema aislado se encuentra circundado por el aire del medio ambiente por lo que, el calor que fluye a través del aislante se transfiere a este medio. La transferencia se efectúa por un mecanismo llamado convección, el cual está formado por la acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de masa. Cuando se fuerza el movimiento de un fluido por una superficie debido al efecto de un agente externo tal como una bomba o un ventilador, el proceso se conoce como convección forzada. Cuando se presentan cambios de densidad en el fluido a consecuencia del intercambio de energía se habla de convección natural.

Puesto que la transferencia de calor al medio ambiente se incrementa al aumentar el movimiento másico del aire, no es lógico esperar ventilación sobre un sistema aislado, pues sería contradictorio; por lo tanto el único medio de transferencia de calor al medio ambiente, debe ser la convección libre o natural.

La determinación del calor transferido al medio ambiente se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q = h_c A (t_p - t_f) \quad \text{Watt; (BTU/hr) ... (9)}$$

Partiendo de datos experimentales se deducen una serie de ecuaciones simplificadas, exclusivas para aire a presio-

nes y temperaturas atmosféricas moderadas para obtener h_c .

a) Placas y cilindros verticales:

$$h_c = \frac{1.42 (t_p - t_f)^{0.25}}{L} \quad \text{Watt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_c = 1.31 (t_p - t_f)^{0.33}$$

b) Para tubos horizontales:

$$h_c = \frac{1.32 (t_p - t_f)^{0.25}}{D} \quad \text{Watt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_c = 1.52 (t_p - t_f)^{0.33}$$

Donde:

- L.- Longitud de la placa en m.
- D.- El diámetro del tubo expresado en cm.
- t_f .- Temperatura del aire $^\circ\text{C}$.
- t_p .- Temperatura de la pared exterior del equipo ó del sistema aislado.

1.2.3 Radiación

La radiación térmica se ha definido como una transferencia de energía por medio de ondas electromagnéticas según - la teoría de Maxwell o por medio de fotones discretos (seme jantes a paquetes de energía) de acuerdo a la teoría de Max Planck, para lo cual no es necesaria la existencia de un me dio que permita la transferencia, puede realizarse a través del vacío. La radiación térmica se propaga a la velocidad de la luz, con una longitud de onda que va de 0.1 a 100 micras, de acuerdo al espectro electromagnético de radiación. La longitud de onda a la que se radia calor varía con la - temperatura, la naturaleza de la superficie radiante y del medio que rodea al radiador.

Cuando un cuerpo recibe energía radiante, parte de ella es reflejada, parte transmitida y otra absorbida; dependien do del tipo de superficie que se trate.

La reflexión se realiza de dos modos:

- a) Cuando el ángulo de incidencia es igual al de re flexión. Las superficies que se comportan de este modo son llamadas especulares.
- b) Cuando un haz de energía se distribuye uniformemen te en todas las direcciones, después de la refle xión sobre una superficie llamada difusa.

Ninguna superficie real es completamente especular o di fusa, sólo se presentan aproximaciones, por ejemplo:

Una superficie difusa se observa de manera más palpable en una superficie rugosa; en cambio una superficie especular se advierte en una superficie pulida.

La transmisividad sólo se presenta en materiales transparentes y semitransparentes como sería el caso del vidrio, - el agua, el aire seco, etc.; sin embargo sólo se trabajará con superficies opacas en las cuales la transmisividad se - considerará nula. En este caso el comportamiento puede expresarse del siguiente modo:

$$\rho + \alpha = 1 \quad \dots (10)$$

Siendo:

ρ .- La fracción de calor radiante reflejada.

α .- La fracción absorbida.

La fracción absorbida por el cuerpo depende de su negrura esto es, de la eficiencia absorbente de su superficie - respecto a la del cuerpo negro.

El cuerpo negro se define, como un cuerpo capaz de absorber toda la energía radiante que incide en su superficie; - además puede emitir la mayor cantidad de calor a cualquier temperatura y longitud de onda.

El poder emisor de un cuerpo real es menor que el de un cuerpo negro y su emisividad (e) se define como la relación entre el poder emisor del cuerpo real (E) y del cuerpo negro (E_b):

$$e = \frac{E}{E_b}$$

El cálculo de la energía que pierde un aislamiento por radiación a partir de la ley de Stefan - Boltzmann es:

$$Q = Q_1 - Q_2 = \epsilon A e T_p^4 - \epsilon A e T_f^4$$

Como la emisividad se considera igual al poder absorbente y el área de transferencia es la misma, se tiene:

$$Q = \epsilon A e (T_p^4 - T_f^4) \quad W; \text{ (BTU/hr) } \dots (11)$$

Como el fenómeno de radiación y convección se presentan asociados en la transferencia térmica de los aislamientos es necesario definir una ecuación semejante a la de convección la cual se expresa así:

$$Q = h_r A (t_p - t_f) \quad W; \text{ (BTU/hr) } \dots (12)$$

Entonces:

$$h_r = \frac{Q}{A (t_p - t_f)}$$

Por lo que sustituyendo Q por la ecuación 11:

$$h_r = \frac{\epsilon A e (T_p^4 - T_f^4)}{A (t_p - t_f)}$$

Como las áreas de transferencia son las mismas y las temperaturas absolutas T_p y T_f son las de la pared del aislante y del fluido respectivamente se tiene:

$$h_r = \frac{\epsilon \left[(t_p + 273)^4 - (t_f + 273)^4 \right]}{t_p - t_f} \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

TABLA 1 DE EMISIVIDADES

MATERIALES	TEMPERATURA		e
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	
Aceros:			
En chapa pulida	940 - 1100	1724 - 2012	0.52 - 0.61
Rugoso	40 - 370	104 - 698	0.79
Aluminio:			
Muy pulido	440 - 1070	824 - 1958	0.039 - 0.057
Pulido	73	163	0.040
Chapa sin pulido	78	172.4	0.055
Rugoso	26	78.8	0.055

TABLA 1 DE EMISIVIDADES

MATERIALES	TEMPERATURA		e
	°C	°F	
Pinturas:			
Aluminio	100	212	0.27 - 0.67
Aluminio sobre hierro galvanizado	20	68	0.52
Aluminio con cuerpo lacado	0 - 200	32 - 392	0.34 - 0.42
Esmalte, vitreo, blanco	20	68	0.52
Blanco mate sobre aluminio pulido	18 - 30	64 - 86	0.91
Negro mate sobre aluminio pulido	14 - 24	57 - 75	0.88
Aceite cualquier color	0 - 93	32 - 199	0.92 - 0.96
Papel cualquier color	0 - 93	32 - 199	0.92 - 0.94

2. Definición de aislamiento térmico

En virtud de que el calor es una forma de energía, al igual que la luz o la electricidad es transmitida con gran facilidad a través de ciertos materiales y fluye con dificultad en otros. Pues bien, los materiales que presentan mayor resistencia al paso del calor se denominan AISLANTES.

La resistencia que el aislante opone al flujo de calor, depende del tipo de material que lo compone. De los elementos existentes en la naturaleza, los gases son quienes poseen coeficientes de conductividad más bajos, por lo cual, existe la posibilidad de usarlos como aislantes, el único inconveniente es su gran prestancia a la transferencia térmica por convección. Sin embargo, si se usan pequeños recintos donde el movimiento del aire se vea frenado, logrando números de Reynolds muy bajos, se podrán reducir las pérdidas de calor por convección. El tamaño de los recintos no debe ser pequeño, porque aumenta la proporción del cuerpo sólido, ni muy grande pues activa la convección. Esto resulta ser una limitación para mejorar el aislante, ya que la resistencia al flujo de calor es inversamente proporcional a la densidad del material y para lograr un material altamente resistivo se tendría que reducir su fortaleza, lo que ocasionaría más fragilidad en el aislante.

Resumiendo, el aislante térmico resulta ser un soporte mecánico de pequeñas celdas llenas de aire u otro gas las cuales varían en forma y tamaño de acuerdo al tipo de mate -

rial que se trate.

2.1 Tipos de aislamientos térmicos

Se dividen de acuerdo a su composición en los siguientes tipos:

A.- Aislamiento escamoso:

Se compone de pequeñas partículas, copos o escamas las cuales dividen finamente los espacios de aire. Estas escamas o copos pueden ser o no aglutinadas. Ejem.: Vermiculita y mica expandida.

B.- Aislamiento fibroso:

Lo componen fibras de pequeño diámetro que forman finos espacios entre sí llenos de aire. Estas fibras son orgánicas o inorgánicas y pueden ser o no aglutinadas. Las fibras orgánicas son: cabellos, madera, caña o sintéticas. Y las inorgánicas: vidrio, lana mineral, lana de escoria, sílice de alúmina, amianto o carbón.

C.- Aislamiento granular:

Esta compuesto de pequeños nódulos que contienen vacíos o espacios huecos. No es considerado un auténtico material celular, ya que el gas puede ser transferido entre los espacios individuales, por ejemplo: magnesio, silicato de calcio, tierra diatomácea y corcho ve

getal.

D.- Aislamiento celular:

Se compone de pequeñas células individuales selladas - por separado, se fabrican en vidrio, caucho y plástico

E.- Aislamiento reflectivo:

Compuesto de finas láminas paralelas o foil de alta re flectividad térmica y espaciados para reflejar el ca - lor radiante hacia el punto de origen. El espacio tam - bién es diseñado para proveer divisiones o áreas res - tringidas de aire o gas. Dicha restricción de espacio reduce la transferencia de calor causado por la condu - cción y convección. En muchos casos, las finas lámi - nas reflectivas se hacen de aluminio o acero inoxida - ble. El aislante reflectivo obtiene su resultado debi - do a su diseño y construcción, más que un material ho - mógeneo es un sistema aislante. Debido a estas razo - nes, sus propiedades deben ser discutidas separadamen - te del aislamiento másico.

Se producen aislantes mezclando dos o más tipos de los anteriormente mencionados para obtener las propiedades deseadas. Los aislamientos másicos se fabrican en va - rias formas para satisfacer los requisitos de aplica - ción.

2.2 Formas del aislamiento térmico

Las formas de presentación comercial del aislamiento tér

unicos son las siguientes:

A.- Aislamiento rígido:

Block, láminas y figuras preformadas como cubiertas de tuberías (medias cañas), segmentos curvados, etc..

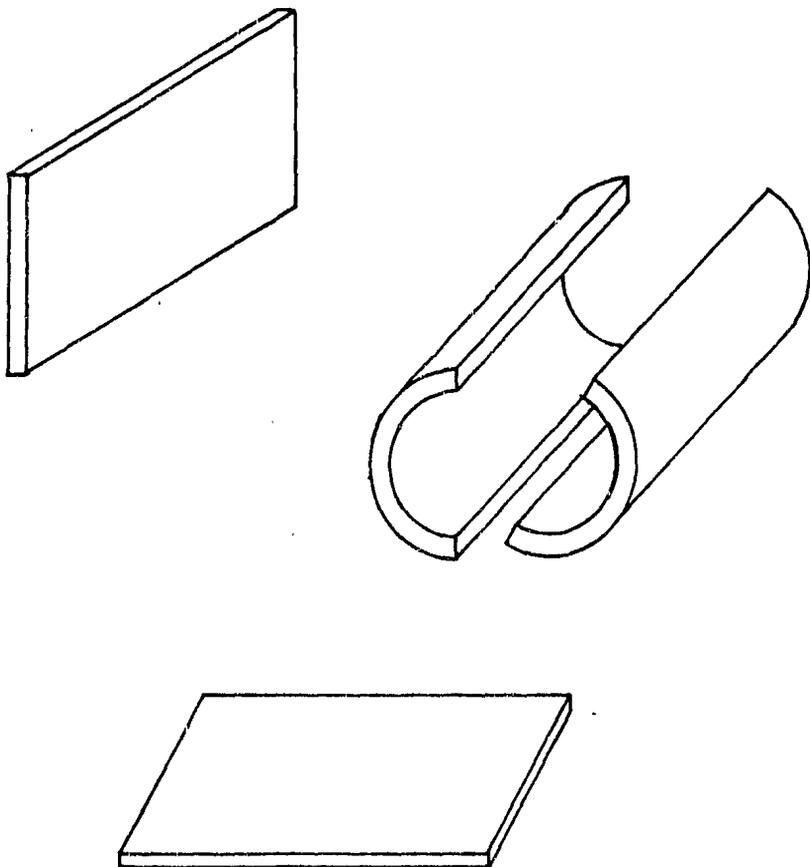


FIG (7)

B.- Aislamiento semirígido:

Placas, láminas y figuras preformadas.

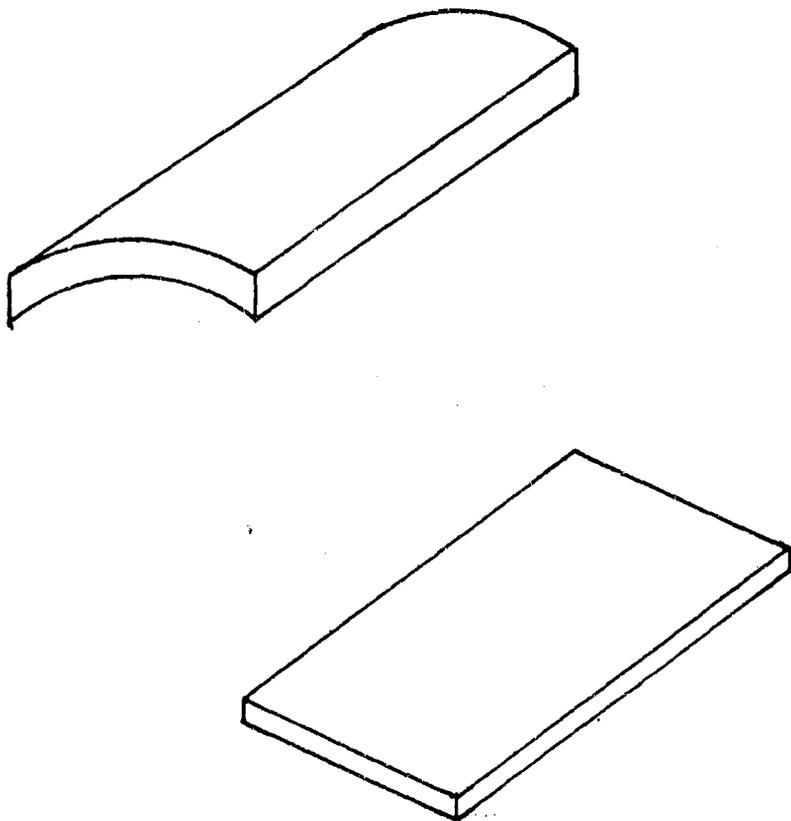


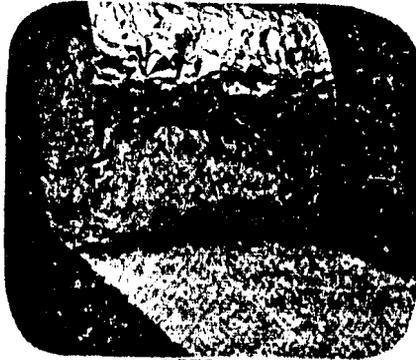
FIG (8)

C.- Aislamiento flexible:

- . Placa, láminas y figuras preformadas
- . Mantas
- . Colchas
- . Fielros
- . Cintas



COLCHAS



PIELTROS

FIG (9)

2.3 Propiedades generales de los aislamientos térmicos

Absorción de agua:

Es la propiedad de un material que mide la cantidad de agua que absorbera cuando es sumergido en agua.

Calor específico:

Es la relación de cantidad de calor requerida para elevar una unidad de masa.

Conductividad térmica:

Es la propiedad de un cuerpo homogéneo medido por la relación del flujo de calor en estado de reposo (el coeficiente de tiempo de flujo de calor por unidad de superficie) al gradiente de temperatura (diferencia de temperatura por unidad de longitud de la trayectoria del flujo de calor) en la dirección perpendicular a la superficie.

Densidad:

Es la masa de una unidad de volumen de aislamiento.

Estabilidad dimensional:

Indica su capacidad para retener sus medidas o forma - después de la acción del tiempo, corte o siendo sujeto a temperatura o humedad.

Límites de temperatura:

Las máximas temperaturas, están determinadas por sus - propiedades arriba y abajo de las cuales un material no experimentará un cambio esencial en sus propiedades.

Dentro de sus límites un material no debe fallar mecánica, química y térmicamente. Esos límites son determinados por el efecto de la temperatura sobre las propiedades.

El tiempo de exposición a la temperatura y el número de cambios en temperatura, tienen un efecto en algunos materiales. Por esta razón, en la mayoría de los casos, es necesario determinar lo siguiente:

Máxima temperatura	-	Operación continua
Máxima temperatura	-	Operación intermitente
Máxima temperatura	-	Ciclo de operación
Mínima temperatura	-	Ciclo de operación
Mínima temperatura	-	Ciclo continuo de operación

Resistencia a los ácidos:

Propiedad de un material, el cual indica su capacidad para resistir descomposición por varios ácidos a los cuales puede quedar sujeto.

Resistencia a la compresión:

Propiedad de un material la cual mide su capacidad para resistir una carga tendiente a comprimirlo o encogerlo.

Resistencia al choque:

Propiedad de un material la cual indica su capacidad para ser sujeta a cambios rápidos de temperatura sin falla física.

Resistencia a la flexión:

Propiedad de un material la cual mide su capacidad para resistir la flexión sin quebrarse.

Resistencia a la tensión:

Propiedad de un material la cual mide su capacidad para resistir una fuerza tensora que tiende a romperlo.

Resistencia a la vibración:

Propiedad de un material, la cual índica su capacidad para resistir vibración mecánica sin desgaste, asentamiento y pulverización.

2.4 Propiedades generales de cementos aislantes

Después de que son aplicados y secados los cementos, mastiques, espumas formadas en el lugar de aislamiento, se tornan rígidos y semirígidos sus propiedades son las mismas - listadas anteriormente, sin embargo del estado húmedo al - seco las propiedades adicionales deben ser consideradas como sigue:

Adhesión - Humeda:

Propiedad de un material que índica su habilidad para - pegar a la superficie a la cual ha sido aplicada sin - deslizamiento o caída.

Adhesión - Seca:

Propiedad de un material que índica su capacidad para - unir la superficie a la cual es aplicada y permanecer - en su lugar de servicio.

Cobertura - Humedad:

Propiedad que mide la cantidad de un material necesario para cubrir un área especificada para obtener un secado.

Encogimiento - Humedo a Seco:

Propiedad que mide la diferencia en cambio volumétrico o lineal lo cual ocurre en el secado de mastiques y cementos aislantes.

**C E M E N T O S****FIG (10)**

2.5 Materiales de acabado

Los acabados tienen una función básica, proteger el aislante. Cada uno provee protección de manera diferente.

- . Barrera contra intemperie:

Material que, cuando es instalado en la superficie externa del aislante térmico protege el aislante de la lluvia, viento, radiación solar, contaminación atmosférica y daño mecánico.

- . Acabado aislante:

Material aplicado a el aislante para proveer un contorno final, un suave acabado liso, parejo y reforzar la superficie externa.

- . Cubierta de apariencia:

Material usado sobre aislantes barrera contra intemperie o la cubierta externa que proveerá el color o textura deseada para propósitos decorativos.

- . Barreras contra intemperie laminadas:

Están compuestas de películas laminadas de fieltro o ho-

jas de metal con o sin filamentos de reforzamiento.

Las cubiertas de metal pueden ser de acero galvanizado, prepintado ó aluminio.

. Cubiertas de acero inoxidable:

Son las más resistentes químicamente a la intemperie y físicamente más fuertes que cualquier cubierta aislante. Proveen larga duración en la protección aislante, abuso mecánico, resisten la corrosión, no requieren mantenimiento para guardar su apariencia agradable.

. Cubiertas de acero tratado:

Son de acero galvanizado, la superficie interior está provista con una protección adicional barrera contra vapor de papel Kraft impregnado.

Está cubierta es físicamente fuerte, pero no es resistente a la corrosión como el acero inoxidable, llega a necesitar reparación.

. Cubiertas de aluminio:

Deben ser usadas donde no se dañen físicamente y protegidas de fuertes vientos.

2.6 Clasificación de los materiales aislantes

La clasificación siguiente se hace en base a los límites máximos de temperatura que el material puede soportar sin dañarse. En este caso se trata de materiales cuya temperatura máxima de trabajo es mayor de 35 °C (95 °F). Estos materiales serán denominados de acuerdo al nombre comercial con que se le conoce:

Material	Temperatura máxima de trabajo	
	°C	°F
Poliuretano	125	257
Papel de amianto o asbesto	149	300.2
Fibra de vidrio con resina fenólica	232	449.6
Carbonato de magnesita	315.5	600
Filtro de amianto laminado	377	710.6
Fibra de amosita moldeada	399	750.2
Placa aislante a base de lana mineral.	426	798.8

Fibra de vidrio sin resina fenólica	538	1000.4
Max - temp	650	1202
Aislamiento estructu- ral incombustible Marinite 1	650	1202
Insulbesto a base de silicato de calcio	700	1292
Lana mineral	700	1292
Pamsil	760	1400
Good Temp 1500	815	1500
Block acanalado	815	1500
Block aislante supe - rex	871	1600
Manta de ceralana	871	1600
Ceramanta	1093.3	2000

Las propiedades y características de los aislamientos mencionados anteriormente se anexan en el apéndice.

3. Diseño del sistema aislante

El aislamiento que cubre a los equipos, tuberías o depósitos se compone de varios elementos:

Material aislante, acabado y accesorios de soporte que en conjunto forman un sistema aislante.

Para diseñar el sistema aislante óptimo, es necesario analizar las condiciones que guarda el equipo y la tubería dentro de la industria.

A continuación se presenta un método que permitirá diseñar el sistema aislante con un enfoque generalizado para darle mayor posibilidad de aplicación.

Este diseño se compone de:

- 3.1 Determinación de las funciones que debe cumplir el sistema.
- 3.2 Condiciones de operación y requerimientos del equipo.
- 3.3 Selección de los componentes del sistema.
- 3.4 Evaluación económica del sistema.
- 3.5 Aplicación del sistema aislante.

Cada punto se explicará enseguida, en donde utilizaremos la palabra sistema para referirnos al sistema aislante y - equipo referente a tuberías, depósitos, etc..

3.1 Determinación de las funciones que debe cumplir el sistema

En base a su capacidad para retardar el flujo del calor, el sistema puede desempeñar las siguientes funciones:

- . Conservar la energía térmica por economía.

Función requerida cuando se desea disminuir el consumo - de energía.

Energía eléctrica usada para calefacción directa o indirecta.

Cuando es necesario disminuir el costo de cada kilogramo de vapor generado.

- . Conservar la energía por razones de proceso.

En caso de que se quiera evitar enfriamientos precoces - durante el proceso o cambios de estado del material.

Donde es necesario mantener las condiciones de proceso - dentro del área de producción o del equipo.

- . Mantener la temperatura del equipo.

En muchas ocasiones la calidad del producto exige un control de temperatura muy riguroso.

Si el medio circundante influye demasiado en la temperatura del equipo o producto.

- Retardar cualquier cambio de temperatura.

Será indispensable evitar riesgos de enfriamiento por fallas de la fuente de calor (eléctricas o térmicas).

- Protegerá al equipo contra el fuego.

Es necesario que el aislamiento no ayude en la propagación del fuego y en cambio si facilite su autoextinción o en caso de incendio debe proteger al equipo retardando el contacto con el fuego hasta su completa extinción.

La función que desempeñará el sistema puede ser cualquiera de las anteriores y se determina de acuerdo al criterio del diseñador para cada caso en particular.

3.2 Condiciones de operación y requerimientos - del equipo

Las condiciones de operación determinan la situación que guarda el equipo en la industria, la cual tendrá que soportar el sistema.

Estas condiciones son las siguientes:

- Temperatura de operación del equipo.-

En el diseño se tomará la temperatura máxima de opera -

ción del equipo no importa que sea constante, variable o cíclica. Si la temperatura de entrada en una tubería es mayor que la de salida, se tomará la mayor para ese fin. Esto se debe a que el aislante tiene un límite de temperatura de trabajo.

. Temperatura exterior.-

Varía considerablemente por las estaciones del año o por la influencia de equipo cercano de alto nivel de radiación. Sin embargo, en el diseño se tomará la temperatura promedio.

. Calor adicional que entra al sistema.-

Ya sea de la fuente del proceso, de venas de vapor o resistencias eléctricas. Debe evaluarse la cantidad en Watts (BTU/hora) para determinar el espesor económico posteriormente. Si se pretende economizar la energía, controlar la temperatura o las pérdidas de calor.

. Pérdidas de calor que originan los soportes del equipo.-

Estas partes obstaculizan el correcto aislamiento del equipo, pero transmiten el calor directamente al exterior, por lo que deben incluirse dentro del diseño si se pretende optimizar el uso del sistema. Para cuestiones de evaluación económica deben considerarse las pérdidas que originan si se dejasen desnudas.

. **Riesgo de abusos mecánicos.-**

Debe ser considerado cuando existe la posibilidad de:

- **Golpes.-** Por tránsito de maquinaria o material, mantenimiento o manejo del equipo.
- **Aplastamientos.-** Por pisadas o colocación de depósitos y tuberías sobre el aislante.
- **Raspaduras, cortaduras o piquetes** que dañen el sistema.

. **Riesgo de contaminación.-**

El sistema puede contaminarse por elementos diferentes a su composición ya sean líquidos, gases o sólidos (humos, gases, agua, aceites, polvos o tierra) que puede dañar sus propiedades. Por lo que el sistema podría ser hermético o impermeable.

. **Riesgo de corrosión.-**

Si el sistema será expuesto a un ambiente corrosivo o al derrame de algún material corrosivo, deberá ser inerte a ellos e inclusive protegerá al equipo de posibles corrosiones.

. **Localización dentro de la industria.-**

Puede estar localizado bajo techo, a la interperie, o en el subsuelo. En cada caso su situación varía, por lo que es necesario determinar las condiciones relativas a su localización.

- Equipo en el interior:

Las condiciones de humedad.

La humedad relativa en relación a la temperatura.

- Equipo en el exterior:

Condiciones ambientales, por ejemplo: Radiación solar, lluvias, viento, etc..

- Equipo en el subsuelo:

Las condiciones térmicas del subsuelo.- Conductividad térmica, el calor específico, contenido de humedad, peso específico, temperatura promedio en las diferentes épocas del año.

3.2.1 Requerimientos del equipo

Debe cumplir con cierto número de requerimientos que el equipo exige. Lo cual deberá afrontar cada uno por medio de las propiedades de sus componentes. Basandonos en tal relación dividiremos los requerimientos del equipo en las siguientes partes:

. Requerimientos mecánicos.-

El equipo está sujeto a fuerzas internas o externas tales como:

Vibración.- Debido al funcionamiento y vibración del -
equipo mismo, otros equipos cercanos o tránsito de -
vehículos.

La dilatación térmica del equipo.- Debido a la expansión
térmica del metal.

. Requerimientos químicos.-

Ya que el sistema estará en contacto con el equipo existe
el riesgo de que reacciones con el material en proceso u -
otra sustancia del interior. Por lo que se requiere que
el sistema sea:

No corrosivo.- La corrosión puede ser originada por la -
reacción del aislante con la cubierta metálica del -
equipo.

Inerte.- No deberá reaccionar con el material en proceso
u otra sustancia que pueda manejar el equipo. Ade-
más no debe provocar reacciones que originen combus-
tiones espontáneas o explosiones.

. Requerimientos térmicos.-

Influyen tanto en los materiales aislantes como en los -
de acabado, están referidos directamente a sus propieda -
des.

Límites de temperatura: Debe tomarse en cuenta la capaci-
dad del material para soportar el límite máximo y mí

nimo de temperatura sin dañarse, ni modificar sus propiedades. Debe considerarse si la exposición será continua, intermitente, cíclica o de cambio rápido.

Resistencia al choque térmico: Cuando el sistema estará sujeto a repentinos cambios de temperatura. Por ejemplo: lluvia, granizo sobre el sistema caliente o cuando se usa para protección del fuego, al estar expuesto a este y recibir el agua que lo extinguirá.

Emisividad térmica: Se requiere cierto cuidado con la temperatura superficial del sistema. Pues entre mayor sea el grado de oscuridad del sistema menor será la temperatura superficial que tendrá, ya que la mayor parte de la energía térmica desprendida del equipo podrá ser radiada.

Conductividad térmica: Esta es la principal propiedad del sistema y sea cual sea la función del mismo deberá ser la mínima posible. Este requerimiento sólo se verá restringido por el costo, la fortaleza requerida y las condiciones de operación.

. **Requerimientos relativos a la humedad.-**

Requiere que el sistema aislante esté seco, para un fun -

cionamiento correcto. Puesto que puede humedecerse por agua o vapor debido a la presión de estos sobre el sistema o por mojaduras. No obstante, en el sistema a altas temperaturas la migración del vapor no tiene gran importancia.

El sistema será impermeable por completo.- Cuando el sistema estará sumergido en agua. Para lo cual además deberá encajonarse metálicamente para resistir la presión del agua.

Para equipo localizado en la industria.- Una protección contra la humedad cuando este expuesto a posibles derramamientos, goteos o lavado del equipo.

En equipos a la interperie.- Protección contra lluvias y granizo.

Para instalaciones subterráneas.- Se requiere protección impermeable para prevenir la entrada del agua al sistema y la oxidación del equipo.

. Requerimientos físicos.-

Los materiales aislantes se pueden obtener en varias formas o dimensiones, cada presentación ofrece diferentes ventajas para su aplicación y servicio, por lo que algu-

nas son más óptimas para ciertos casos y más deficientes para otros. Los requerimientos del equipo respecto a la forma y dimensiones son las siguientes:

Forma:

Facilidad de manejo.- Para poder aplicarlo es necesario que su forma no impida su manejo, por lo que no debe ser muy voluminoso, con proyecciones estorbosas o componentes complejos.

Facilidad para adaptarlo al equipo.- El aislante debe dar posibilidades para poderlo cortar, perforar, doblar, torcer o inclusive maquinarlo si esto fuera necesario.

Dimensiones:

Las dimensiones y configuración del equipo determinan las medidas del aislante. Por lo que para poderlas establecer se requiere primero conocer las del equipo.

Dimensiones de la tubería:

Longitud

Díametro exterior

Díametro nominal y cédula

Dimensiones de valvúlas, bridas y conexiones:

Díametro nominal
Ancho
Largo
Altura
Radio o ángulo de curvatura
(conexiones)
Díametro del vástago
(valvúlas)

Dimensiones del equipo:

Longitud
Ancho
Altura
Díametro exterior
Díametro interior

Depósitos y tanques:

Longitud
Díametros
Alturas
Alturas y radios de las tapas

En base a estas dimensiones podremos calcular el área -
de transferencia térmica para evaluar económicamente al
sistema.

3.3 Selección de los componentes del sistema

Para seleccionar los componentes del sistema aislante es necesario haber determinado las condiciones de trabajo y - los requerimientos del equipo. Los datos obtenidos de este modo, permitirán definir las propiedades que deberá poseer el componente para cumplir eficientemente sus funciones.

3.3.1 Material aislante

• **Temperatura límite de operación:**

El límite máximo de temperatura debe estar arriba de la máxima temperatura de trabajo del equipo, ya que si se excede se dañará el aislante.

En el punto 2 se presenta una lista de aislantes para seleccionarlo.

• **Forma del aislante:**

Rígido.- Donde se requiere fortaleza estructural, resistencia al abuso mecánico y deberá soportar su peso el mismo.

Semirígido o flexible.- Donde los abusos mecánicos son ligeros, obtendrá soporte de otros elementos y su flexibilidad es deseada para amoldarse al - equipo.

Cementos.- Para pequeñas conformaciones del equipo, rellena vacíos tales como, cubierta niveladora,

preformados o sobre bloques.

Pulverizado (espreado).- Para cubrir grandes superficies irregulares.

Espuma aislante.- Usada en grandes áreas o para rellenar cavidades.

Aislante de relleno.- Se usa para el llenado de cavidades o huecos estrechos.

Cada forma presenta cierto número de propiedades que permite su adaptabilidad a cada caso en particular.

• **Conductividad térmica:**

Esta propiedad se determina bajo la influencia del costo del sistema y la fortaleza del aislante. Entre más baja sea, más caro es el aislante y más frágil.

• **Densidad aparente o gravedad específica:**

Cuando el peso mínimo por volumen cúbico es esencial para equipo que no soporta mucha carga adicional o un alto peso si se requiere que el sistema no se levante con el aire en cúpulas o tapas del equipo.

• **Absorción:**

Si un aislante corre el riesgo de entrar en contacto con agua, vapor o hielo; es necesario que no sea absorbente de lo contrario reducirá su capacidad aisladora al empaparse.

. Estabilidad dimensional:

Para aplicaciones que impliquen grupos de aislantes sobre áreas grandes. Por ejemplo: placas sobre calderas y depósitos o preformados en tuberías.

. Resistencia al choque térmico:

Si la temperatura de operación es cíclica o el cambio de temperatura es rápido, el aislante deberá resistir sin deteriorarse físicamente.

. Calor específico:

La cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del aislante, es de consideración para cuestiones económicas en operaciones cíclicas o inestables.

. Resistencia a la compresión:

Cuando es necesario que soporte su propio peso, al colocarlo verticalmente, soportar pizadas, golpes, peso de otra tubería y peso del material de acabado sin undirse.

. Fortaleza a la tensión:

Cuando se requiere que el sistema se acople a los movimientos de dilatación del equipo.

. Resistencia a la vibración:

Si se quiere prevenir que el aislante se autodestruya por vibración.

- . Resistencia a la flexión:
Cuando es requerido para cubrir huecos o colocar tapas, el aislante deberá resistir cargas flexionantes.

- . Resistencia al impacto:
Si el sistema está expuesto a golpes que lo dañen ya sea interno o externo.

- . Facilidad de corte:
Si se pretende construir configuraciones a partir de plcas y medias cañas.

- . Adhesión seca:
Si es necesario que se mantenga adherido al equipo independientemente de los accesorios de soporte, deberá soportar la dilatación, vibración y carga sin separarse.

- . Adhesión húmeda:
Cuando se requiere que el aislante este en su lugar mientras se aplica al equipo.

- . Elongación:
Si se pretende que la dilatación del equipo sea absorbida por el material sin que este se dañe, ni se deslice - sobre la superficie del equipo.

. **Flexibilidad:**

Se requiere que el aislante se pueda enrollar o deformar al aplicarlo al equipo sin que se arrugue, quiebre o -
cuarte.

. **Resiliencia:**

Necesario que el aislante se adapte al cambio de figura y dimensión del equipo al recuperar su estado original -
después de haber sido deformado.

. **Efectos de corrosión al equipo:**

Debe seleccionarse el aislante que sea compatible con el material de la superficie del equipo. No debe iniciar -
ni favorecer la corrosión.

. **Resistencia a los ácidos:**

Ya que en la industria varía el número y tipo de ácidos, solventes caústicos, es recomendable exponer el aislante que se ha de seleccionar (una muestra) al producto químico que puede entrar en contacto con el y observar su resistencia al mismo.

Por otra parte, en la selección de un material de acabado se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Protección contra entrada de agua directa al aislamiento

- Protección mecánica para el aislamiento
- Incombustible
- Forma y apariencia

3.4 Evaluación económica del sistema

Con el propósito de optimizar el uso del aislante, deben considerarse los costos que originan su uso y los ahorros - que el mismo implica.

Para utilizar un sistema aislante es necesario invertir en materiales de acabado, mano de obra, accesorios, etc.. También debe considerarse que el sistema aislante no elimina completamente las pérdidas de calor, si no que existirá una fuga de calor remanente, lo cual implica un costo que - debe estimarse. La suma de estos costos darán un valor total del sistema aislante, el cual varía con el espesor y tipo de material usado. Sin embargo la selección del tipo de material se basa en otros factores inherentes a los requerimientos del equipo, por lo que la evaluación se efectúa só-lo con respecto al espesor. Cuando este es mínimo se tiene el sistema más óptimo económicamente.

Para calcular los costos inherentes al uso del aislante y las pérdidas remanentes de calor se utilizará el método - de Mc. Millan.

3.4.1 En superficies planas

- El costo de las pérdidas de calor anual por m^2 es igual
a m

$$m = \frac{a_m}{\frac{X}{K_m} + \frac{l}{h_{cr}}}$$

Donde:

$$a_m = \frac{Y (t_1 - t_f) M}{1\ 000\ 000}$$

Y = Horas de operación del equipo al año

t_1 = Temperatura de la pared exterior del equipo en $^{\circ}C$

t_f = Temperatura del aire en $^{\circ}C$

M = Valor del calor en pesos por cada
1 000 000 de Watt - hora

Entonces:

$$M = A (1 + r)^p P_e$$

A = Costo de la energía liberada por el combustible usado en el equipo generador de energía. FIG. (11)

r_1 = Tendencia de incremento del costo de combustible anual. FIG. (11)

p = Período de (amortización de costos en años) considerado para amortizar la inversión

P_e = Factor de eficiencia del sistema generador de energía

$$P_e = \frac{1}{\text{eficiencia}}$$

. El costo del sistema aislante por m^2 por año es igual a n

$$n = bX$$

b = Costo unitario del aislante en pesos por m^2 por cm de espesor por año

X = Espesor del aislante en cm

Por lo que:

$$b = I a (1 + P) B$$

- $I a$ = Inversión de adquisición del material -
aislante por cada m^2 por cm de espesor
- F = Factor que involucra los costos de instalación, acabados, accesorios e indirecto (generalmente se considera igual a 30%)

$$B = R + N$$

- N = Factor que representa el deterioro del aislamiento ocasionado por el mantenimiento del equipo o tubería aislada
- R = Factor debido a la amortización del capital

$$R = \frac{r_2}{1 - (1 + r_2)^{-p}}$$

- r_2 = Interés anual capitalizable semestral o -
anualmente
- p = Período considerado para amortizar la inversión

• Costos totales

$$C_T = m + n$$

3.4.2 En superficie cilíndrica

- Los costos de las pérdidas de calor anual por metro lineal son:

$$m = \frac{a_m}{\frac{1}{2\pi K_m} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 h_{cr}}} = \frac{a_m}{R_T}$$

- Los costos del sistema aislante por metro lineal por año es:

$$n = \frac{\pi}{50} (r_2^2 - r_1^2) b$$

Donde:

50 = Factor de conversión de cm a m

r_2 = Radio exterior del equipo aislado en cm

r_1 = Radio interior del equipo sin aislar en -
cm

- Costos totales

$$C_T = m + n$$

Debido a que el sistema aislante genera un ahorro de energía, se evalúa el costo de está para determinar los ahorros anuales generados por una inversión en aislante. Para evaluar estos ahorros se calculan las pérdidas de calor del equipo sin aislar y se obtiene un valor al cual se le resta el calor que pierde el equipo aislado para darnos los ahorros de energía:

$$q_H = q_{T_1} - q_{T_2}$$

Donde:

q_H = Calor ahorrado

q_{T_1} = Calor perdido por el equipo sin aislar

q_{T_2} = Calor perdido por el equipo aislado

Evalutando los ahorros se tiene:

$$H = q_H \cdot Y \cdot M$$

H = Ahorros anuales por el uso del sistema aislante por metro lineal

Y = Horas de operación al año del equipo

M = Valor del calor en pesos por cada 1 000 000 de Watt - hora

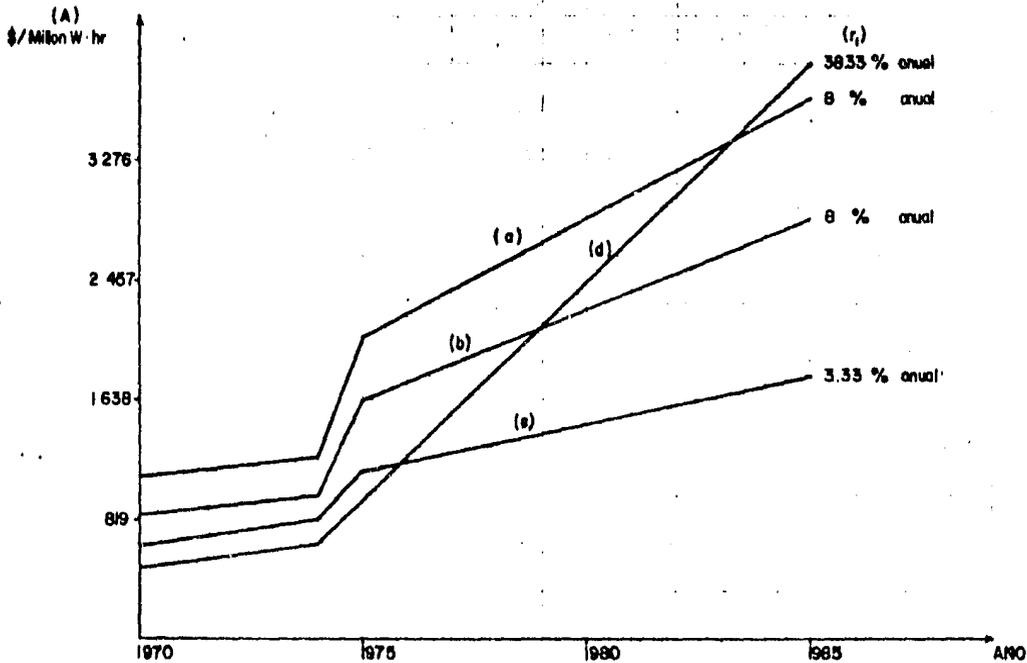


FIG (11)

- a) HC-LIGEROS-COMB.
- b) ACEITE COMBUSTIBLE
- c) #/BL. CRUDO x 0.10
- d) GAS COMBUSTIBLE

GRAFICA DEL COMPORTAMIENTO ANUAL DEL COMBUSTIBLE

EJEMPLO:

Se requiere diseñar un sistema aislante para una tubería que conduce vapor, debido a que se desea reducir los costos originados por las pérdidas de calor y proteger al personal

La tubería está en posición horizontal a la intemperie, con un diámetro nominal de 0.152 m (cédula 80), 40 metros - de longitud, temperatura de operación 315.5 °C y su coeficiente de transferencia por convección (h_o) es de 14515.5 $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

Diseño del sistema aislante para una tubería

- . **Funciones del sistema aislante:**
 - Conservar la energía térmica por economía
 - Protección al personal

- . **Condiciones de operación y requerimientos del equipo:**
 - Temperatura de operación del equipo = 315.5 °C
 - Temperatura exterior mínima = 10 °C
 - Calor adicional de entrada = 0 Watt

- . **Riesgo de abusos mecánicos:**
 - Sólo por accidente

- . **Riesgo de contaminación:**
 - Sólo por lluvia

- . Riesgo de fuego:
No hay

- . Localización:
A la intemperie

- . Requerimientos mecánicos:
Soportar la dilatación del equipo

- . Requerimientos químicos:
No corrosivo

- . Requerimientos térmicos:
Debe soportar 315.5 °C

- . Resistente al choque térmico

- . Emisividad térmica:
Mínima

- . Conductividad térmica:
Mínima

- . Requerimientos relativos a la humedad:
Debe protegerse contra la lluvia

. **Requerimientos físicos:**

Fácil de manejar y adaptar al equipo

Dimensiones del equipo para determinar las del aislante-

Díametro exterior 0.168 m

Longitud 40 m

Selección del material aislante

En base a la tabla de materiales aislantes del capítulo 2 se seleccionaron los siguientes:

- . Fieltro de amianto laminado
- . Amosita moldeada
- . Fibra de vidrio sin resina fenólica
- . Max temp
- . Insulbesto a base de silicato de calcio
- . Pamsil
- . Good Temp
- . Block acanalado

Estos materiales tienen una temperatura límite de trabajo mayor que la temperatura de operación del equipo.

Forma física seleccionada:

Aislante rígido preformado para tubería, ya que ofrece - facilidad en su aplicación y manejo, resistencia al abu-

so mecánico y fortaleza estructural. Por lo tanto: los únicos aislantes que se tomarán en cuenta para la selección son:

- a) Max temp
- b) Insulbesto a base de silicato de calcio
- c) Pansil
- d) Good Temp

Conductividad térmica con una temperatura promedio de 162.7°C :

- a) $0.0894 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- b) $0.0600 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- c) $0.0605 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- d) $0.0635 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

Densidad:

- a) 320.37 Kg/m^3
- b) 218.0 Kg/m^3
- c) 220.0 Kg/m^3
- d) 170.0 Kg/m^3

Absorción de humedad:

- a) Resistente a la humedad
- b) No le afecta

- c) Es insoluble en agua caliente o fría, pero no repelente
- d) No le afecta

Estabilidad dimensional:

- a) Encogimiento mínimo 2 %
- b) Encogimiento lineal 1.5%
- c) Encogimiento lineal 0.74%
- d) Encogimiento lineal 0.70%

Resistencia al choque térmico:

Todos poseen suficiente

Resistencia a la compresión con 5% de deformación:

- a) No se conoce
- b) 11.2 Kg/cm²
- c) 6.32 Kg/cm²
- d) 6.33 Kg/cm²

Fortaleza a la tensión:

Es adecuada en los 4 materiales

Resistencia a la flexión:

Alta

Resistencia al impacto:

Es suficiente y se mejora al usar un material de acabado adecuado

Facilidad de corte:

Buena en los 4 materiales

Efecto de corrosión:

No lo provoca, ni lo acelera

Combustibilidad:

Son incombustibles

En base a lo anterior y tomando en cuenta las condiciones requeridas en el problema, el aislante seleccionado es el - Good Temp. Por lo siguiente:

Poseé la más alta temperatura de operación

Tiene mínima conductividad térmica

Suficiente resistencia a la compresión

Mínimo porcentaje de encogimiento lineal

Poca densidad y a prueba de agua

Selección del material de acabado

• **Tipos:**

- a) Cubierta contra intemperie de acero inoxidable liso
- b) Cubierta contra intemperie de aluminio liso
- c) Cubierta contra intemperie de aluminio corrugado

• **Resistencia al impacto:**

- a) Excelente
- b) Pobre
- c) Regular

• **Resistencia al corte:**

- a) Alta
- b) Poca
- c) Poca

• **Absorción de humedad:**

Todos son repelentes

. Combustibilidad:

Todos son incombustibles

Como nuestro diseño no requiere de un material de acabado de gran resistencia al impacto por no estar expuesto a grandes abusos mecánicos, el material de acabado a utilizar se es la lámina de aluminio lisa.

Evaluación económica

Para determinar el espesor económico del aislante, primero se calculan las pérdidas de calor del equipo sin aislamiento.

El calor que pierde el equipo, se determina en este caso suponiendo que la temperatura superficial del equipo es igual a la temperatura de operación, lo cual no ocasiona un error muy apreciable, sin embargo, existen casos en donde la viscosidad del fluido interno del equipo es alta y la conductividad de la pared externa del equipo es baja (tubos de vidrio) este error es de consideración. No obstante, para cuestiones en el uso del aislante es positivo, ya que incrementa la resistencia con fines de aislamiento.

Para generalizar el ejemplo, se considerará al coeficiente de transferencia de calor por convección del fluido interno del equipo respecto a su pared exterior como un dato, ya -

que su cálculo no es el objetivo de la tesis.

El calor que escapa del equipo al medio ambiente es:

$$q_{r_1} = \frac{\pi (t_o - t_f)}{\frac{1}{h_o D_o} + \frac{1}{2 K_m} \ln \frac{D_1}{D_o} + \frac{1}{h_1 D_o}}$$

Donde:

t_o = Temperatura de operación del equipo -
315.5 °C

t_f = Temperatura del aire ambiente 10 °C

D_o = Diámetro interior del tubo 0.154 m

D_1 = Diámetro exterior del tubo 0.168 m

h_o = Coeficiente de transferencia de calor -
por convección del fluido interno del -
equipo 14515.5 W/m² °C

K_{m_1} = Conductividad de la pared del tubo -
45 W/m °C

h_1 = Coeficiente combinado de convección - ra-
diación de la tubería sin aislante

$$h_1 = \frac{\epsilon \left[(t_{p_2} + 273)^4 - (t_f + 273)^4 \right]}{t_{p_2} - t_f} + 1.32 \frac{(t_{p_2} - t_f)^{0.25}}{D_1}$$

Donde:

t_{p_2} = Temperatura de la superficie exterior de la tubería sin aislante

ϵ = Constante de Stefan - Boltzmann
 $5.6697 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$

ϵ = Emisividad de la tubería (acero rugoso)
 0.74

Cuando $t_{p_2} = 315 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$h_1 = \frac{5.6697 \times 10^{-9} (0.74) \left[(315 + 273)^4 - (10 + 273)^4 \right]}{315 - 10} + 1.32 \frac{(315 - 10)^{0.25}}{D_1}$$

$$h_1 = 1.5561 + 32.83 = 34.39 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Entonces:

$$q_{T_1} = \frac{\pi (315.5 - 10)}{\frac{1}{14515.5 (0.154)} + \frac{1}{2 (45)} \frac{L_n}{0.154} + \frac{1}{34.39 (0.168)}}$$

$$q_{T_1} = 5\,500 \text{ W/m}$$

Verificando se tiene:

$$t_{p_2} = t_o - \frac{\left(\frac{1}{h_o D_o} + \frac{1}{2 K_{m_1}} L_n \frac{D_1}{D_o} \right) q_{T_1}}{\pi}$$

$$t_{p_2} = 315.5 - \frac{\left(\frac{1}{14505.5 (0.154)} + \frac{1}{2 (45)} L_n \frac{0.168}{0.154} \right) 5\,500}{\pi}$$

$$t_{p_2} = 315.5 - 2.48 = 313 \text{ } ^\circ\text{C}$$

No chec6.

Para otros t_{p_2} supuestos se tiene:

t_{p_2}	h_1	q_{T_1}	Resultado
315	34.39	5 500	313
314	34.36	5 495	313
313	34.33	5 489.8	313

Por lo tanto:

La temperatura de la pared exterior de la tubería es - 313 $^\circ\text{C}$ y pierde 5 489.8 W/m

Para una tubería aislada

Las pérdidas de calor con 0.0254 m de espesor de aislante son:

$$q_{T_2} = \frac{\pi (t_{p_2} - t_f)}{\frac{1}{2 K_m} L_n \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_2 D_2}}$$

Donde:

K_{m2} = Conductividad media del aislante a 162.8°C es $0.0635 \text{ W/m }^\circ\text{C}$

D_2 = Diámetro exterior de la tubería con aislante 0.2188 m

h_2 = Coeficiente de convección - radiación de la tubería al aire ambiente

$$h_2 = \frac{4e \left[(t_{p_3} + 273)^4 - (t_f + 273)^4 \right]}{t_{p_3} - t_f} + 1.32 \frac{(t_{p_3} - t_f)^{0.25}}{D_2}$$

Donde:

t_{p_3} = Temperatura de la superficie exterior de la tubería aislada

e = Emisividad de la superficie exterior del aislante (del material de acabado lámina de aluminio liso) 0.04

Suponiendo $t_{p_3} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$h_2 = \frac{5.6697 \times 10^{-9} (0.04) [(55 + 273)^4 - (10 + 273)^4]}{55 - 10} + 1.32 \frac{(55 - 10)^{0.25}}{0.2188}$$

$$h_2 = 15.64 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Y:

$$q_{T_2} = \frac{\pi (313 - 10)}{\frac{1}{2 (0.0635)} + \frac{L}{h_n} \frac{0.2188}{0.168} + \frac{1}{15.64 (0.2188)}} = 401.3 \text{ Watt/m}$$

Comprobación:

$$t_{p_3} = \frac{q_{T_2}}{h_2 A} + t_f$$

Donde:

$$A = \text{Area superficial / metro lineal de tubería aislada} = \pi (D_2) \times 1 \text{ m} = \pi (0.2188) \times 1 = 0.6874 \text{ m}^2/\text{m}$$

Entonces:

$$t_{p_3} = \frac{401.3 \text{ W/m}}{15.04 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 0.6874 \text{ m}^2/\text{m}} + 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{p_3} = 47.46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como no es la temperatura correcta se calcularán otras -
obteniendo lo siguiente:

t_{p_3}	h_2	q_{T_2}	t_{p_3}
47.46	14.95	399	48.97
48.97	15.1	399.5	48.60
48.60	15.06	399.4	48.59

Por lo tanto:

La temperatura de la pared exterior del aislante es -
48.6 $^\circ\text{C}$ y las pérdidas de calor son 399.4 W/m . Sin embar-
go es necesario corregir la conductividad del aislante -

para una temperatura promedio de $\frac{313 + 48.6}{2} = 180.8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Entonces:

$$K_{m_2} = 0.0690$$

Y las pérdidas de calor son:

$$q_{T_2} = \frac{\pi (313 - 10)}{\frac{1}{2(0.069)} L_n \frac{0.2188}{0.168} + \frac{1}{(0.2188)(15.06)}}$$

$$q_{T_2} = 429.2 \text{ W/m}$$

Los costos del calor remanente son igual a m

$$m = \frac{a_m}{\frac{1}{2\pi K_m} L_n \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 h_{cr_2}}}$$

$$a_m = \frac{Y (t_{p_2} - t_f) M}{1\ 000\ 000}$$

Donde:

$$Y = 8760 \text{ hr/año}$$

$$t_{p_2} = 313 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_f = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$M = A (1 + r_1)^n \text{ Fe}$$

$$A = \$ 2703.10 \text{ por cada millón de Watt - hr}$$

(Para aceite combustible)

$$r_1 = 8\% \text{ anual (aceite combustible)}$$

$$p = 3 \text{ años}$$

La eficiencia del generador de vapor es de 60%,

$$\text{Fe} = \frac{1}{60\%} = 1.67$$

Substituyendo se tiene:

$$M = \$ 2703.10 (1 + 0.08)^3 1.67 = \$ 5686.56/\text{Millón} - \text{W. hr}$$

$$a_m = \frac{8760 \frac{\text{hr}}{\text{año}} (313 \text{ } ^\circ\text{C} - 10 \text{ } ^\circ\text{C}) \$ 5686.00 / \text{W. hr}}{1\ 000\ 000}$$

$$a = \$ 15\ 093.72 \text{ hr/año} \cdot \text{ } ^\circ\text{C/W. hr}$$

$$m = \frac{15\,093.72}{\frac{1}{2\pi(0.069)} I_n \frac{0.1094}{0.0840} + \frac{1}{2\pi(0.1094) (15.06)}}$$

$$m = \frac{15\,093.72 \frac{\text{hr}}{\text{año}} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \$/\text{W} \cdot \text{hr}}{0.706 \frac{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}}} = \$ 21\,379.21/\text{m} \text{ año}$$

El costo inherente al aislante es igual a n

$$n = A (c) b = \frac{b}{2} r \left(\frac{r_2 - r_1}{100} \right) b$$

$$r_2 = 0.1094 \text{ m}$$

$$r_1 = 0.0840 \text{ m}$$

$$b = I_a (1 + F) B$$

$$I_a = \$ 1\,460.57/\text{m}^2 \cdot \text{cm}$$

$$F = 30\%$$

$$B = R + N$$

$$N = 3\%$$

$$R = \frac{r_2}{1 - (1 + r_2)^{-p}}$$

$r_2 = 56.25\%$ anual (máximo interés bancario)

$p = 3$ años

$$R = \frac{0.5625}{1 - (1 + 0.5625)^{-3}} = 0.76$$

$$B = 0.76 + 0.03 = 0.79$$

$$b = \$ 1460.57 (1 + 0.3) 0.79 = \$ 1500.00/\text{m}^2 \cdot \text{cm} \cdot \text{año}$$

$$n = \frac{\pi}{50 \frac{\text{cm}}{\text{m}}} (10.94 \text{ cm})^2 - (10.94 \text{ cm} \times 8.4 \text{ cm}) \$ 1500.00/\text{m}^2 \cdot \text{cm} \cdot \text{año}$$

$$n = \$ 2618.92/\text{m} \cdot \text{año}$$

Costos totales:

$$C_T = m + n = \$ 21379.21 / \text{m} \cdot \text{año} + \$ 2618.92 / \text{m} \cdot \text{año}$$

$$C_T = \$ 23998.13 / \text{m} \cdot \text{año}$$

Para encontrar el espesor óptimo económico, se determinan los costos totales en varios espesores de aislante.

Espesor		R_T	A X	m	n	C_T
cm	pulg	$m^{\circ}C/W$	m . cm	\$/m . año	\$/m . año	\$/ m . año
2.54	1	0.7060	1.75	21 379.21	2 618.92	23 998.13
3.81	1.5	0.9864	2.92	15 301.82	4 380.00	19 681.82
5.08	2	1.2304	4.30	12 267.33	6 450.00	18 717.33
6.35	2.5	1.4521	5.89	10 394.41	8 827.48	19 229.41
7.62	3	1.6576	7.67	9 105.77	11 505.00	20 610.77
8.89	3.5	1.8433	9.65	8 188.42	14 475.00	22 663.42
10.16	4	2.0158	11.85	7 487.71	17 775.00	25 262.71

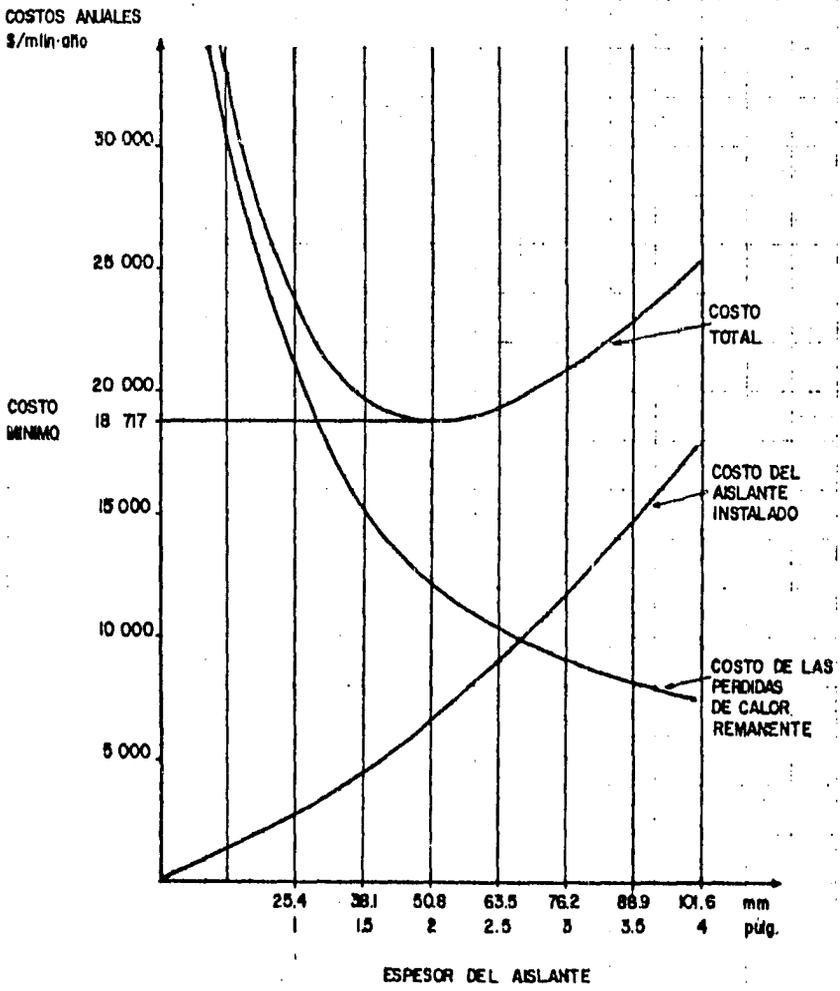
TABLA DE RESULTADOS

Entonces el espesor óptimo es de 50.8 mm (2"). Así, las dimensiones del aislante en longitud 1 m, espesor 50.8 mm (2"), para una tubería de 0.168 m de diámetro exterior.

Por otra parte, se evalúan los ahorros que reditúa el sistema aislante para cada espesor.

Para un espesor de 2.54 cm se determinan que las pérdidas del equipo sin aislar son:

$$q_{T_1} = 5 489.8 \text{ W/m}$$



GRAFICA DE OPTIMIZACION DEL AISLANTE

FIG (12)

Las pérdidas remanentes de calor son:

$$q_{T_2} = 429.2 \text{ W/m}$$

Entonces los ahorros por el uso del aislante son igual a:

$$q_{T_1} - q_{T_2} = 5\,489.8 - 429.2 = 5\,060.6 \text{ W/m}$$

Para una operación anual de 8 760 hr., los ahorros son:

$$5\,060.6 \text{ W/m} \times 8\,760 \text{ hr/año} = 44\,330\,856.00 \text{ W.hr/m.año}$$

Se determinó que el costo de cada millón de Watt - hr -
 fué de \$ 5 686.56; por lo que el valor monetario de los -
 ahorros son igual:

$$44330856.00 \frac{\text{W.hr}}{\text{m . año}} \times \$ 5686.56/\text{millón W. hr} = \frac{\$252090.07}{\text{m . año}}$$

De este modo con una inversión de \$ 23 998.13/m.año obtenemos un ahorro de \$ 252 090.07/m . año.

Para otros espesores los ahorros son:

Espesor		Temperatura superficial del sistema aislante	Pérdidas de calor del sistema aislante	Costo de las pérdidas de calor	Ahorros debidos al sistema aislante
cm	pulg	°C	W/m	\$/m.año	\$/m.año
2.54	1	48.6	429.18	21379.21	252090.07
3.81	1.5	39.8	307.18	15301.82	158167.46
5.08	2	35.2	246.26	12267.33	261201.95
6.35	2.5	32.1	208.66	10394.41	263074.87
7.62	3	29.5	182.79	9105.77	264363.51
8.89	3.5	28.3	164.38	8188.42	265280.86
10.16	4	27.0	150.30	7487.71	265981.57

TABLA DE RESULTADOS

Las pérdidas de calor originados por los soportes de la tubería se evaluaron para determinar si es costeable aislarlos.

El área de cada soporte, se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{Area} = \text{ancho} \times \text{largo} \times 2 + \text{largo} \times \text{grueso} \times 2$$

$$A = (0.025 \times 0.5 \times 2) + (0.5 \times 0.003 \times 2) = 0.028 \text{ m}^2/\text{soporte}$$

Las pérdidas de calor de cada soporte son:

$$q = h_{cr} A (t_{p_1} - t_f)$$

t_{p_1} = Temperatura superficial del soporte -
(Se supondrá igual a la temperatura de la pared exterior del equipo)

$$t_{p_1} = 313 \text{ } ^\circ\text{C}$$

t_f = Temperatura del aire = $10 \text{ } ^\circ\text{C}$

h_{cr} = Coeficiente combinado de radiación -
convección, para una pared plana verti -
cal

$$h_{cr_1} = \frac{+e \left[(313 + 273)^4 - (10 + 273)^4 \right]}{313 - 10} + 1.42 \frac{(313 - 10)^{0.25}}{L}$$

e = 0.79 (Acero rugoso)

L = Dimensión característica, largo 0.5 m

$$h_{cr_1} = 8.71 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Entonces:

$$q = 8.71 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} (0.028 \text{ m}^2/\text{soporte}) (313 \text{ } ^\circ\text{C} - 10 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$q = 73.9 \text{ W/soporte}$$

Las pérdidas anuales de cada soporte para un tiempo de -
servicio de 8 760 hr/año son:

$$73.9 \text{ W/sop.} \times 8\ 760 \text{ hr/año} = 647\ 364 \text{ W} - \text{hr/año} - \text{soporte}$$

$$\text{El costo de un millón de Watt} - \text{hr} = \$ 5\ 686.56$$

El costo de estas pérdidas son:

$$647364 \text{ W.hr/año sop.} \times \$5686.56/1000000 \text{ W.h} = \$3681.27/\text{año.sop}$$

De este modo por cada soporte sin aislar al año se pierde
\$ 3 681.27. Por los veinte soportes de la tubería se pierden
\$ 73 625.40 anualmente.

Para aislar los soportes se requiere ocupar otro tipo de
aislante diferente al usado en la tubería, lo cual equivale
a hacer otra inversión que a pesar de ser mínima no sería -
justificable. Por lo tanto en este caso los soportes no se
aislaran y el costo total debido al sistema aislante insta-
lado sobre toda la línea de vapor es igual a:

$$\$ 18\ 717.33/\text{m} \cdot \text{año} \times 40 \text{ m} = \$ 748\ 693.20/\text{año}$$

Más las pérdidas de los soportes

$$\$ 748\ 693.20/\text{año} + \$ 73\ 625.40/\text{año} = \$ 822\ 318.60/\text{año}$$

Entonces los ahorros anuales debido a esta inversión son:

$$\$ 261\ 201.95/\text{m} \cdot \text{año} \times 40 \text{ m} = \$ 10\ 448\ 078/\text{año}$$

Lo cual comprueba que el uso del aislante es justificable económicamente en la Industria.

3.5 Aplicación del sistema aislante

El diseño físico del sistema aislante está supeditado a varios factores, como son:

- Forma del equipo
- Forma del aislante
- Localización del equipo
- Comportamiento del equipo

Los cuales ya se determinaron en los puntos anteriores, por lo que ya se conocen los componentes del sistema, faltando planear su aplicación. Para esto es necesario definir ciertas condiciones que enmarquen su instalación.

3.5.1 Condiciones para la instalación del - aislamiento

El equipo deberá estar probado e instalado completamen -
te. (Si es probado hidrostáticamente, no instalar el -
sistema hasta que se haya efectuado satisfactoriamente
dicha prueba).

Las placas de especificaciones, datos de fabricación y
de inspección deberán dejarse visibles en el equipo re -
cortando el aislamiento, debe sellarse el hueco para -
evitar la entrada de la humedad.

La superficie del equipo en la que se aplicará el aisla -
miento, estará libre de óxido, grasa, aceite, polvos y
seca. Es recomendable aplicarle una mano de pintura -
anticorrosiva.

Cuando el sistema no pueda ser instalado por completo en
forma continua, deberá protegerse de la interperie con -
una envoltura conveniente para evitar cualquier daño al
sistema aislante. Es recomendable aplicar el material -
de acabado inmediatamente después de instalar el aislan -
te.

Una vez definidas las condiciones, se procede a la apli -
cación del aislante. Cada tipo de aislante se presenta en

varias formas que permiten un buen número de aplicaciones, entonces, para un solo equipo se puede contar con varias opciones y varios métodos de aplicación.

Se explicará la instalación de todas las formas del aislante recomendables para cada equipo. Como se menciona anteriormente, se llamó equipo a toda instalación industrial que requiere aislante, tales como: depósitos, tuberías y equipos térmicos.

3.5.2 Accesorios

Todos los accesorios deben ser los apropiados para asegurar que son del tipo y calidad especificados y de suficiente cantidad para la instalación.

Esto es importante porque la falta de accesorios propios es una de las más comunes causas de demora en el trabajo.

Se encuentran en diferentes marcas, presentaciones y especificaciones.

CLAVE DE ACCESORIOS

MATERIAL

- | | |
|----------------|--|
| A ₁ | Clavija - Pernos para sujetar aislamiento, Ac. Inox. tipo 304, con punteado doble. |
| A ₂ | Grapas rápidas (o tuercas) Ac. Inox. tipo 304, 1-3/3" diámetro para usarse en pernos |

**CLAVE DE
ACCESORIOS**

MATERIAL

- A₃ Alambre de Acero Inoxidable, Cal. 16 AWG, templado.
- A₄ Flejes de Acero Inoxidable, de 19 mm X -
Cal. 26 o 13 mm X Cal. 28.
- A₅ Sellos de Acero Inoxidable para flejes A₄
de 19 y 13 mm respectivamente.
- A₆ Varillas de Acero Inoxidable al carbón de
10 mm de diámetro en largos irregulares.

MATERIAL DE ACABADO

- C₁₄ Cemento para acabado: "Máxima temperatura -
servicio 538 °C".

3.5.3 Aplicación en tuberías

Para este equipo se usan las siguientes formas:

- a) Preformados.- En secciones enteras, por mitades (medias cañas), rígidos, semirígidos o flexibles.
- b) Colchas.
- c) Cintas.
- d) Bloques.
- e) Cementos o mastiques.

a) Preformados.- Este tipo presenta una configuración de cilindro hueco, cuyo diámetro interior es el diámetro exterior de las tuberías de acero y cobre normalizadas. Su diámetro exterior permite que pueda colocarse una capa de aislante encima de otra formando añadiduras. Las secciones enteras sólo pueden usarse cuando el aislamiento es lo bastante flexible para permitir su deslizamiento sobre la tubería, cuando se corta las secciones en un sólo lado en sentido longitudinal. Esta forma es conveniente, por disminuir el número de juntas. Se fija a la tubería con alambre A_3 o flejes tipo A_4 , con sellos A_5 y se le aplica una capa de cemento monolítico, si no está expuesto a abusos mecánicos, de lo contrario, se le pondrá una cubierta de Foil de acero inoxidable.

Secciones por mitades o medias cañas.- Hasta para 30 cm de diámetro se sujetarán, una vez colocadas sobre la tubería con alambre galvanizado o alambre pulido calibre 8 a intervalos no mayores de 30 cm. Las puntas del alambre deberán doblarse y clavarse en el aislamiento para -

evitar salientes. En caso de añadir las capas subsecuentes, deberán aplicarse en la misma forma que la primera. Las medias cañas para tuberías de diámetros mayores de 30 cm se sujetarán con flejes A_4 y sellos A_5 a intervalos iguales a la mitad del preformado.

El aislamiento deberá instalarse de modo que las juntas queden escalonadas tratando de eliminar huecos. Los huecos grandes no se rellenarán, si no que se corregirán reacomodando o reemplazando el material. Los extremos del material de aislamiento expuesto a la intemperie deberán achaflanarse y pegarse al tubo con cemento del acabado.

Al llegar el sistema aislante a una unión bridada que vaya sin aislar o aislada deberán biselarse y rematarse a una distancia adecuada de las bridas los extremos del sistema, para permitir la salida de los tornillos sin que se dañe el aislamiento.

- b) Colchas.- Se usan para tuberías cuyos diámetros sobrepasen a los que cubren los preformados. Hay varias presentaciones de este aislante.

La colcha armada con malla metálica es más flexible, se adapta más fácilmente a la tubería y a sus movimientos o vibración. Se coloca enrollando la tubería, uniéndolos extremos de modo que no queden uniones sueltas y se recubre con el material de acabado elegido para cada caso.

La colcha con metal desplegado, se aplica poniendo la -
 cara con el metal desplegado hacia la tubería, la otra -
 presenta malla metálica ideal para aplicar el material -
 de acabado, se unen los extremos entretegiendolos con -
 alambre de acero inoxidable, siendo más rígido que el -
 anterior.

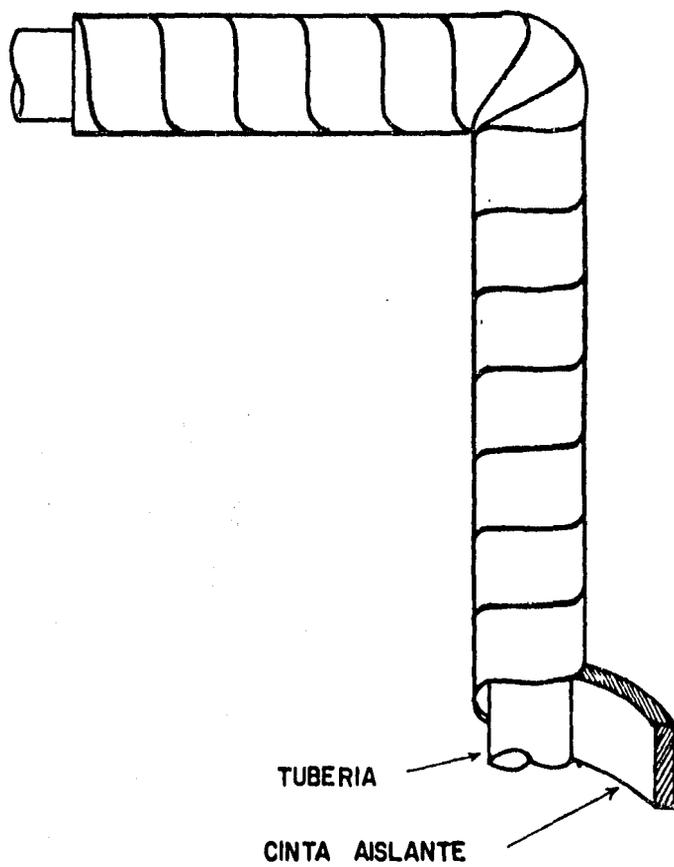
Las colchas con metal desplegado a ambas caras, tienen
 máxima rigidez y mayor resistencia mecánica.

Las colchas con tiras de metal desplegado, se colocan -
 con la cara hacia el tubo, para separar la colcha del -
 mismo, lo cuál le da un espacio de aire que mejora la -
 eficiencia del sistema.

Todas se aplican a la tubería y se fijan con alambre A_3 ,
 posteriormente el material de acabado elegido.

Tienen la ventaja de separarse sin dañarse y volverse a
 aplicar fácilmente recubriendo con material de acabado
 las uniones; es útil para tuberías, requiriendo frecuen-
 tes inspecciones de mantenimiento.

- c) Cinta.- Puede usarse cuando la falta de espacio o las -
 curvas numerosas hacen imposible el uso de preformados.
 Se adapta envolviendo en espiral la tubería y se le ase-
 gura con grapas A_2 o flejes A_4 . FIG. (14)



APLICACION DE LA CINTA AISLANTE

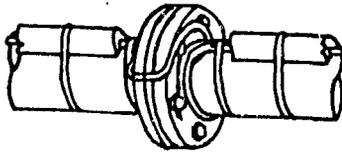
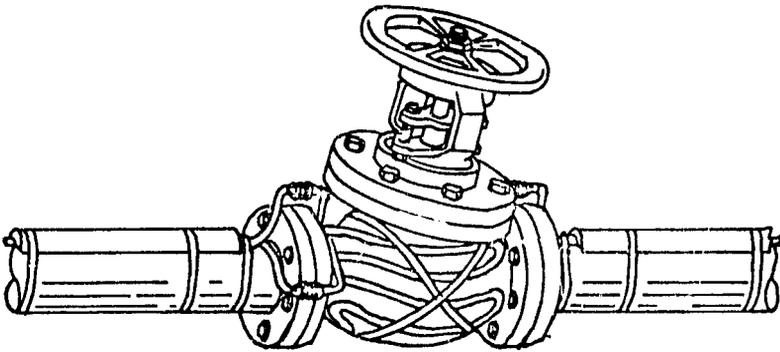
- d) Bloques.- También puede aislarse con bloques acanalados poniéndolos con las muescas hacia la superficie de la tubería y fijándolos con flejes A_4 , aplicando después el material de acabado. Este sistema aislante es de mayor rigidez y resistencia a la compresión, pero necesita juntas de expansión y contracción, debido a su poca flexibilidad al cambio dimensional.
- e) Cemento o mastique.- Este aislante se aplica, colocando primero en la superficie de la tubería una malla metálica que servirá de base con una capa de espesor variable, se deja secar repitiendo la aplicación para obtener el espesor requerido, una superficie lisa y pareja. Finalmente se coloca el material de acabado.

3.5.4 Válvulas, bridas y conexiones de tuberías

Este equipo se aísla sólo cuando la pérdida de calor sea crítica, afecte al proceso, a la calidad del producto y cuando las válvulas, bridas y conexiones tengan venas de vapor, líneas térmicas, eléctricas o resistencias en su exterior. FIG. (15)

Para lo cual se usan los siguientes aislantes:

- Placas y preformados rígidos
- Colchas
- Cementos



TUBERIA CON BRIDA, VALVULAS Y VENAS DE VAPOR

- Placas y preformados.- A partir de los preformados para tubería y placas aislantes se pueden obtener preformados para válvulas, bridas o accesorios. Se corta el aislante de tal modo que se pueda ir conformando al pegar los recortes, el aislamiento que cubrirá tal equipo como se observa. FIG. (16, 17)

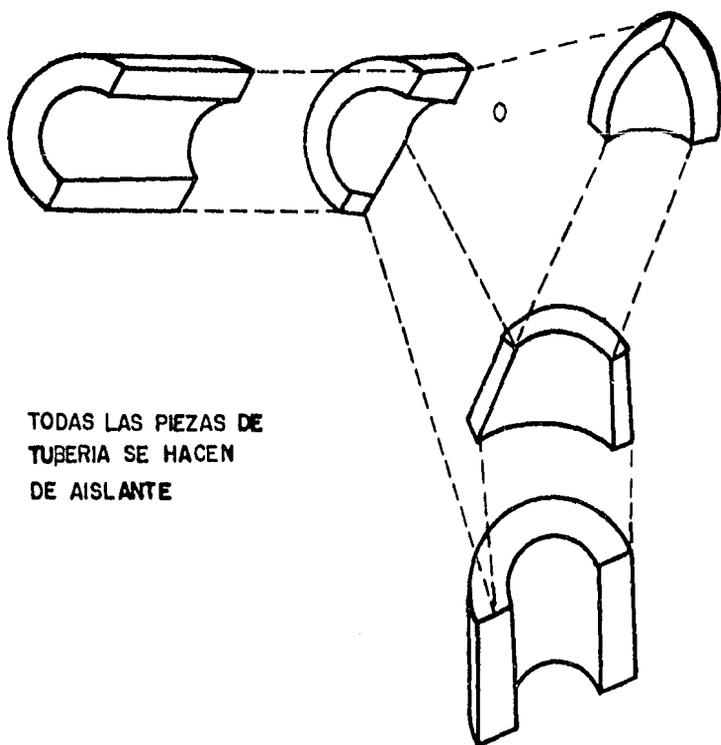
Una vez puesto sobre el equipo, el aislante se fija con alambre A_3 y se les cubre con cemento U_{14} .

- Colchas.- Se aplica enrollando y cubriendo el equipo con el espesor deseado del aislante y luego se sujeta con malla de gallinero y amarres de alambre A_3 , se aplica el cemento aislante en una capa de 13 mm de espesor y se coloca el material de acabado usado para la tubería sobre la capa de cemento.

- Cemento.- Las válvulas, bridas y conexiones menores de 3 1/2 pulgadas que requieren aislamiento, resultan más económicas aislarlas con cemento aislante. Se aplican capas sucesivas, cada una de 6.4 mm (1/4 de pulgada) aproximadamente hasta que el grosor sea igual al del aislante de la tubería.

Se deja secar bien cada capa antes de aplicar la siguiente y la última capa se empareja hasta lograr un acabado final. FIG. (18)

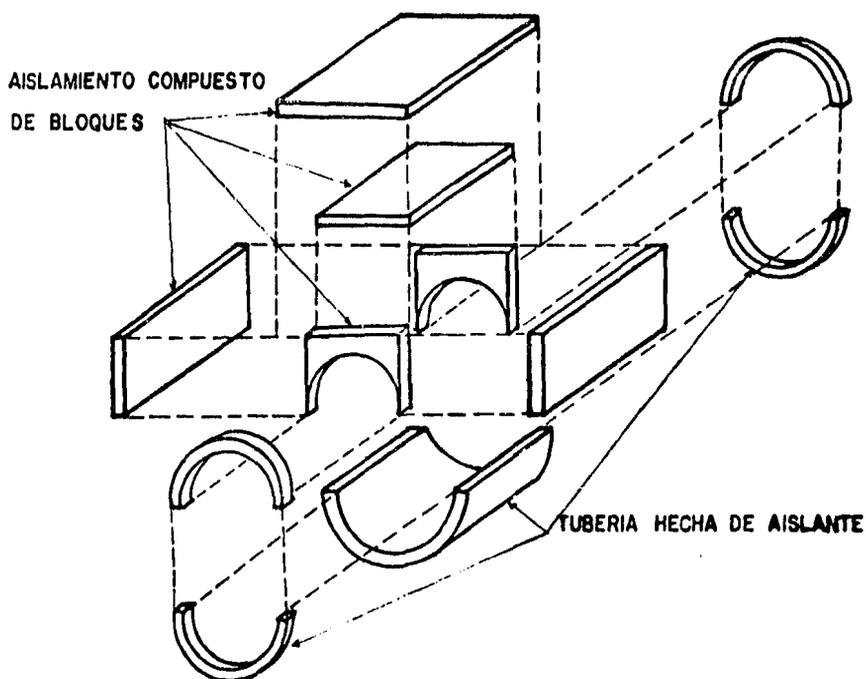
Las válvulas, bridas y conexiones con venas de vapor o resistencias deben ser aisladas procurando cubrir este -



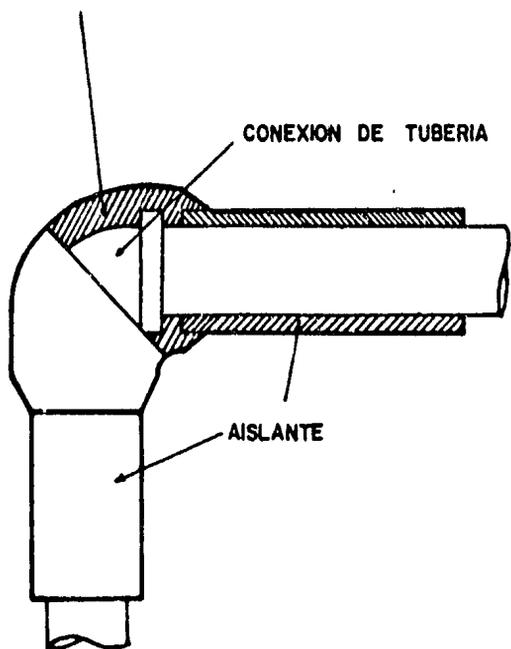
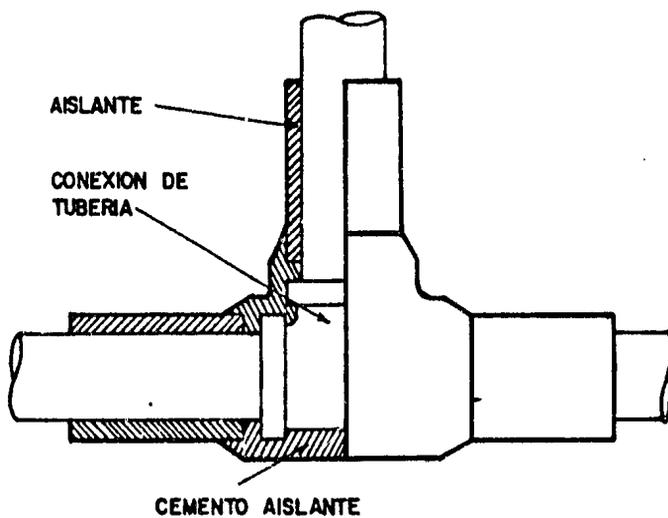
TODAS LAS PIEZAS DE
TUBERIA SE HACEN
DE AISLANTE

PIEZAS ACOPLADAS POR SECCIONES PARA FORMAR CUBIERTAS
DE AISLANTE A 90°

FIG (16)



PIEZAS COMPUESTAS DE AISLAMIENTO PARA VALVULAS Y BRIDAS



APLICACION DEL CEMENTO AISLANTE

sistema de calefacción adicional sin dañarlo.

No se aislará las trampas de vapor, ni las manijas de -
las válvulas.

3.5.5 Depósitos y tanques

Generalmente éste equipo tiene forma cilíndrica, con tapas semiesféricas, cónicas o planas. También se encuentran en forma esférica. Los primeros pueden estar en posición vertical u horizontal, con faldón o patas de soporte. El aislamiento usado para este equipo es variado y se presenta en las siguientes formas:

- Preformados
 - Placas semirígidas
 - Bloques
 - Colchas
 - Espreado en el lugar
- Preformados.- Usados para equipo cuyo diámetro exterior es de 75 cm ó menos. El preformado es el mismo usado para tubería y se aplica de igual modo. Se colocan rodeando al equipo y sujetandolos con flejes A_4 , separados una distancia igual a la mitad de la longitud del aislante, además cada extremo se une a su complemento con adhesivo, posteriormente se aplica el material de acabado que

fue seleccionado. Las tapas se cubren con placas. La superficie deberá tener una ligera pendiente y los huecos se rellenarán con material aislante de relleno.

FIG. (19)

- Placas semirígidas.- Se colocan sobre el equipo sujetándolas momentaneamente con adhesivo, posteriormente se sujetan con alambre A_3 o fleje A_4 espaciados a una distancia igual a un medio de la longitud de la placa.

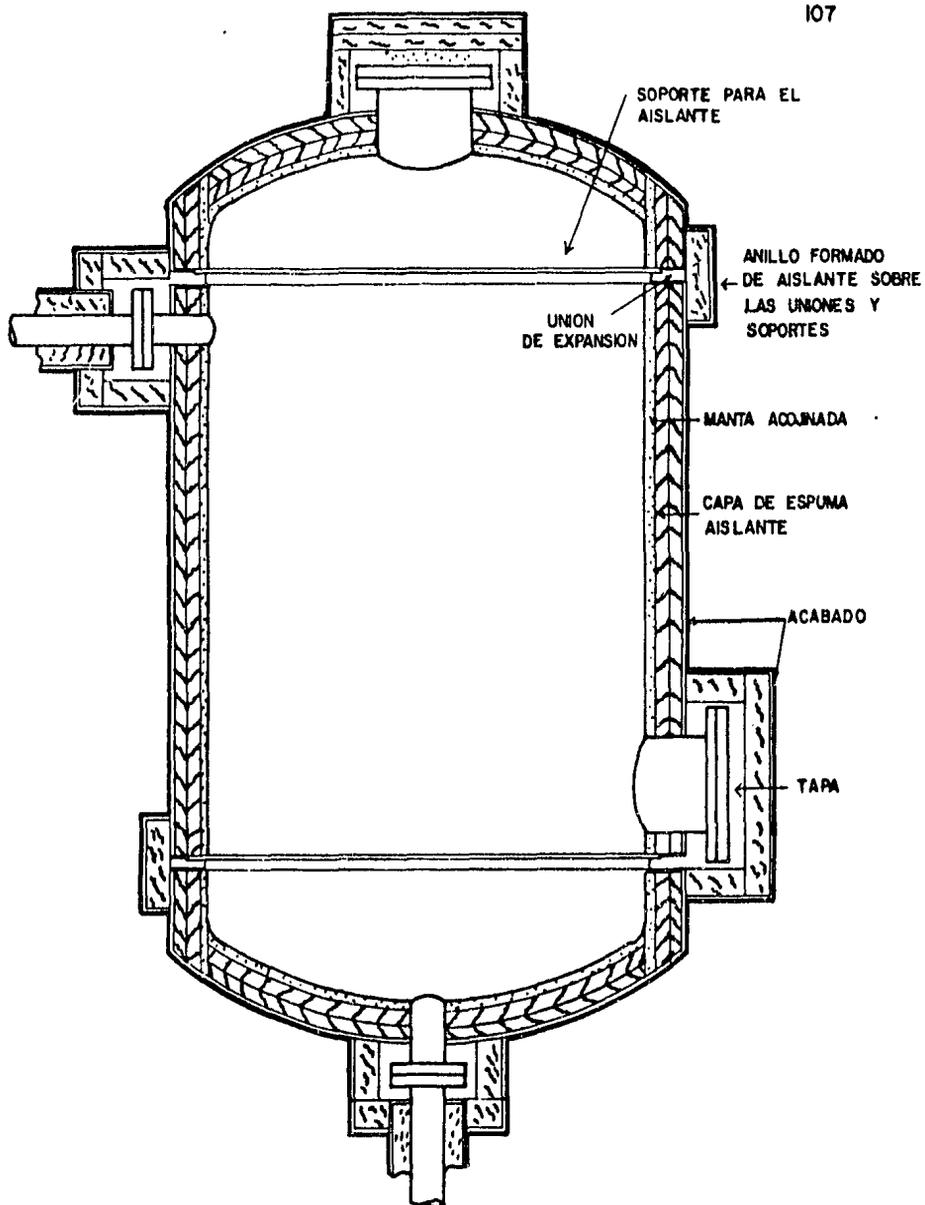
FIG. (20)

Posteriormente se cubre con malla de gallinero que sirve como base para aplicar el material de acabado, si este es cemento monolítico. Cuando el acabado sea con foil de aluminio o acero, se aplicará bajo este una capa de cemento barrera contra intemperie de 1/4 de pulgada.

La tapa superior del equipo vertical se cubrirá cortando la placa de modo que se adapte a su contorno y se sujetará usando un "anillo flotante" contruido de varilla A_6 .

El anillo se colocará sobre el aislante al centro de la tapa de tal manera que no tenga contacto con el equipo. Del anillo se fija un extremo de fleje A_4 , que se sujetará el aislamiento, en el otro extremo se fija un fleje circunferencial colocado en la parte superior del cuerpo próximo a la cabeza.

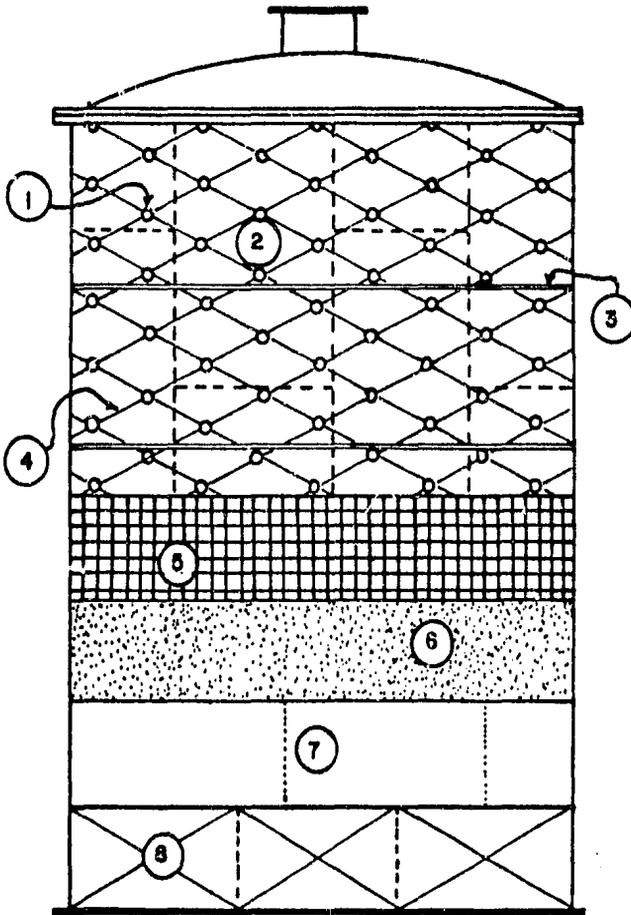
Se colocarán flejes radiales adicionales colocados cada



AISLAMIENTO DE TAPAS EN TANQUES O DEPOSITOS

DETALLE DE LA SUJECION DE AISLAMIENTO
Y SU ACABADO EN RECIPIENTES VERTICALES CALIENTES

108



- 1- ANCLAS
- 2- AISLAMIENTO
- 3- FLEJE DE ACERO GALV.
- 4- ALAMBRE GALVANIZADO No. 16
- 5- METAL DESPLEGADO O TELA GALLINERO
- 6- CEMENTO AISLANTE MONOLITICO
- 7- IMPERMEABILIZANTE TERMOSEAL
- 8- ALUMINIO O LAMINA GALVANIZADA (Lisa ó Punto de Diamante)

FIG (2 C)

30 cm., con el fin de sujetar el aislamiento" (1)

La tapa inferior del equipo se sujetará con alambre A_3 y flejes A_4 . "El primero fijado a tuercas sin roscas soldadas sobre la tapa con una separación entre centros no mayor de 30 cm^2 " (2) FIG. (21, 22)

Las tapas del equipo en posición horizontal se aislarán del mismo modo que las tapas superiores del equipo vertical. Los faldones son aislados con una capa aislante - cuyo espesor sea la mitad del usado para el casco del - equipo a 25 mm como mínimo.

- Bloques.- "Los bloques se colocan sobre la superficie - del equipo asegurandolos temporalmente por medio de un - cemento adhesivo. Después se alambran con un tejido de malla de gallinero o con varillas de metal, posterior - mente se aplica una o más capas de cemento de acabado. FIG. (23)

Para alambrear los bloques se sueldan por puntos a la superficie del equipo por medio de abrazaderas, los alambres de unión se hacen pasar por ellas asegurandolas sobre los lados del equipo con espiras que rodean al aislante. Si los bloques no rodean todo el equipo se sueldan escuadras de hierro a lo largo de los lados, donde -

- - - - -

- (1) Hojas de especificaciones del IMP No L - 202, párrafo E.01.C.2, pág 11
- (2) Párrafo E.01.d.1, ibidem.

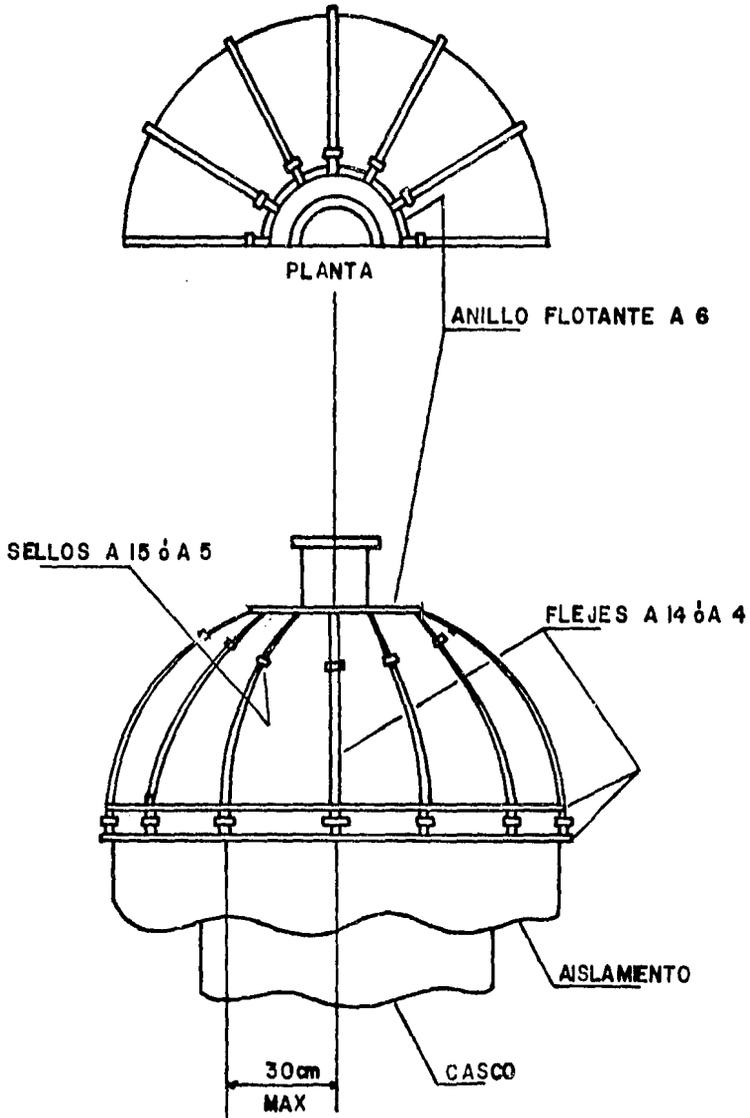
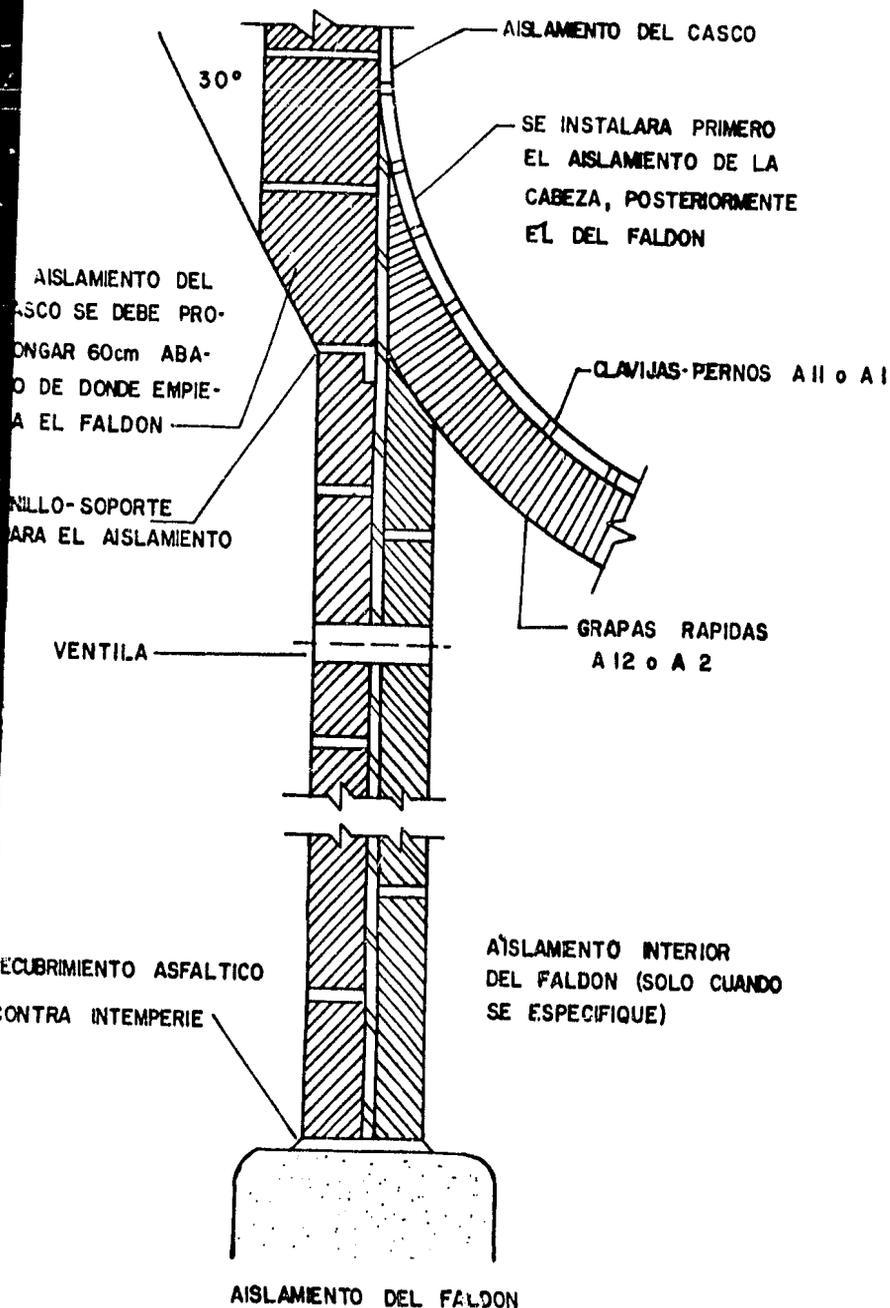
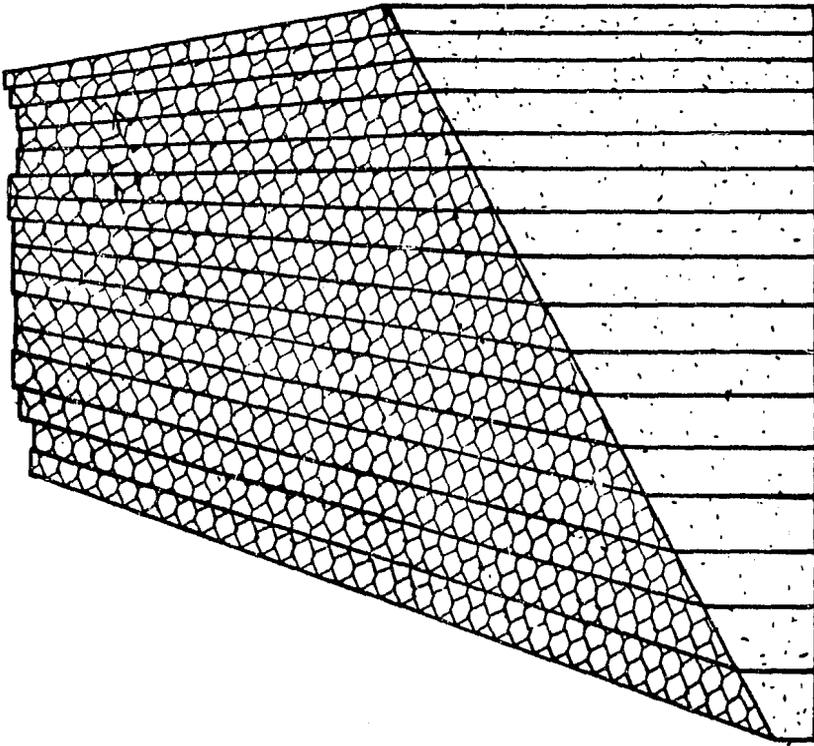


FIG (21)





BLOQUES DE MAGNESIA AL 85% CON TEJIDO DE ALAMBRE, LISTOS PARA
RECIBIR LA CAPA FINAL DE CEMENTO DE AMIANTO

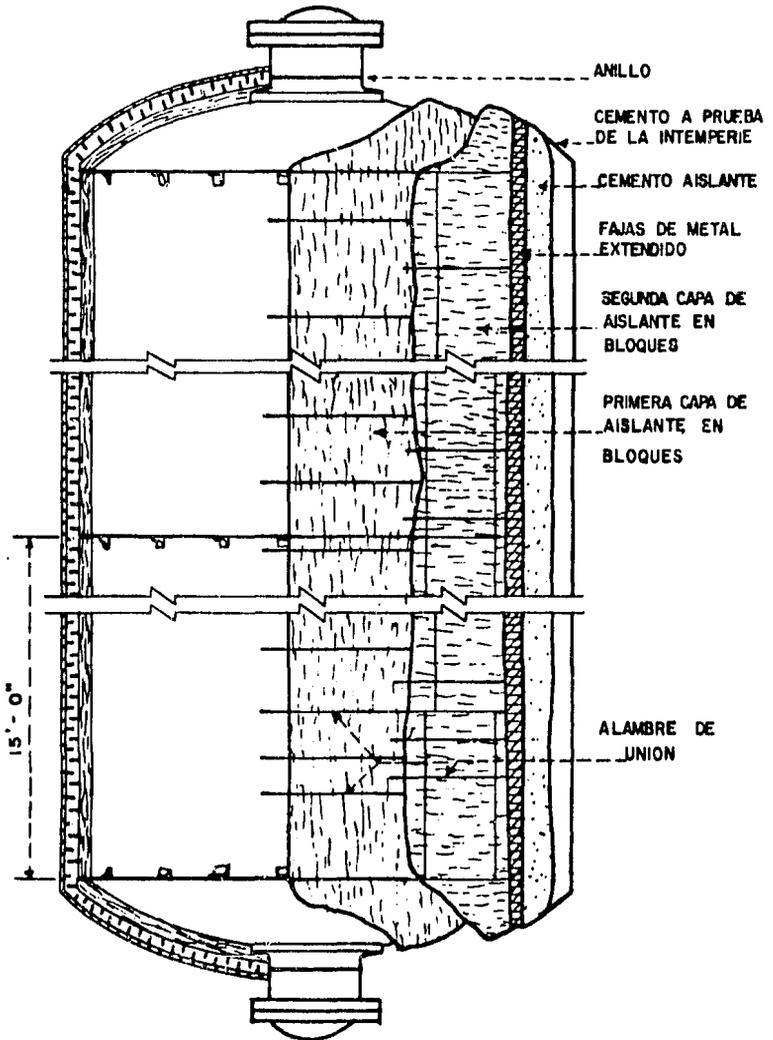
la aislación debe terminar y se aseguran sobre ellas los alambres de unión. Los alambres para asegurar los bloques en los extremos de los recipientes, se sujetan con zinchos que se mantienen alrededor de los bordes de los recipientes y de cualquier conexión con tuberías. Abrazaderas soldadas por puntos al equipo mantienen en su sitio a los zinchos. El aislamiento es sostenido en trechos hasta 4.5 m, por anillos de hierro horizontales empernados a abrazaderas en ángulo. FIG. (24)

Estos anillos sirven como piezas de sujeción para los alambres de unión. En casos especiales en los que las temperaturas no excedan los 260 °C (500 °F) y no es posible el uso de alambre o fleje, los bloques se aseguran mediante el cemento adhesivo y se cubre con el material de acabado" (3)

- Colchas.- Se presentan en tres formas, la que tiene malla de gallinero en ambas caras es más flexible y fácil de adaptar al equipo, se sujeta al mismo con alambre ó fleje con sellos y finalmente se aplica el material de acabado.

Las colchas con metal desplegado en una o en ambas caras le da rigidez al aislante y necesita ser sujetado con varillas o soportes más fuertes. Otro modo de sujeción es

- (3) Aplicación en transmisión de calor, Cap VII. Aislamiento. Págs. 230, 231 y 232.



METODO PARA AISLAR TANQUES Y TORRES VERTICALES

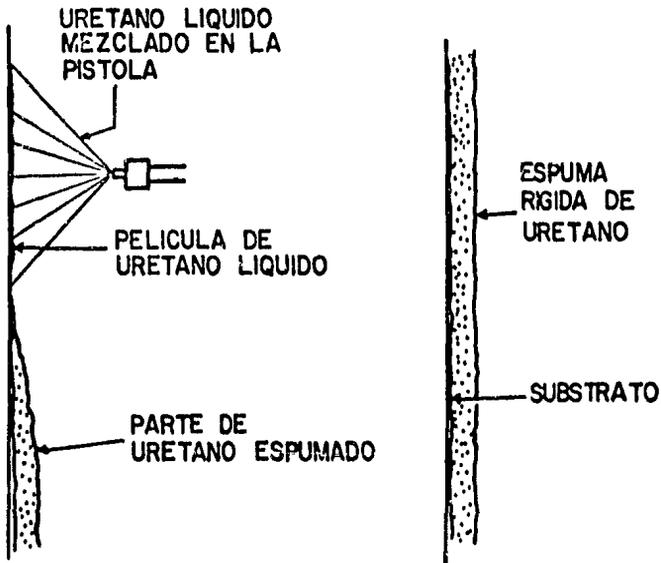
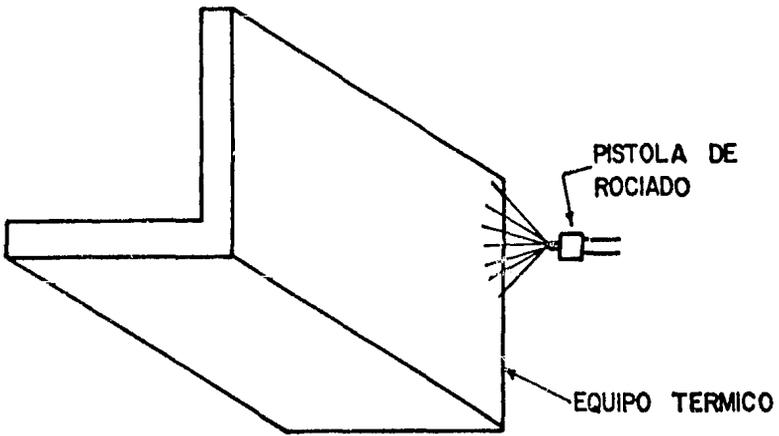
FIG (24)

usando clavijas, pernos y grapas para fijar el aislante. Las tapas superiores, inferiores y faldones de equipo vertical y las tapas de equipo horizontal se aísla del mismo modo como se aplican las placas semirígidas aislantes.

- Espreado en el lugar.- El aislante usado para aplicarlo por medio del roceado, tiene bajo límite de temperatura, por lo que se usa para equipo con temperatura de trabajo hasta 100 °C. Su aplicación es sencilla, pues se rocía directamente sobre el equipo por medio de una pistola en cuya cámara interior se realiza la mezcla de los dos componentes. El rociado se hace parejo, por tramos, aplicando primero una capa y dejándola secar después, se aplican las demás sucesivamente hasta que el espesor llegue a ser el requerido. Cuando se ha secado se le aplica una capa de pintura de acabado retardadora de fuego para hacer al sistema incombustible. FIG. (25)

3.5.6 Aplicación en equipos térmicos

En la industria se encuentran diferentes equipos que deben trabajar a temperaturas mayores que la atmosférica. En estos equipos pueden ser reactores, intercambiadores de calor calderas, hornos, turbinas, secadores, etc.. La configuración de ellos es variada y compleja por lo que el aislante usado para este equipo se presenta en diferentes formas.

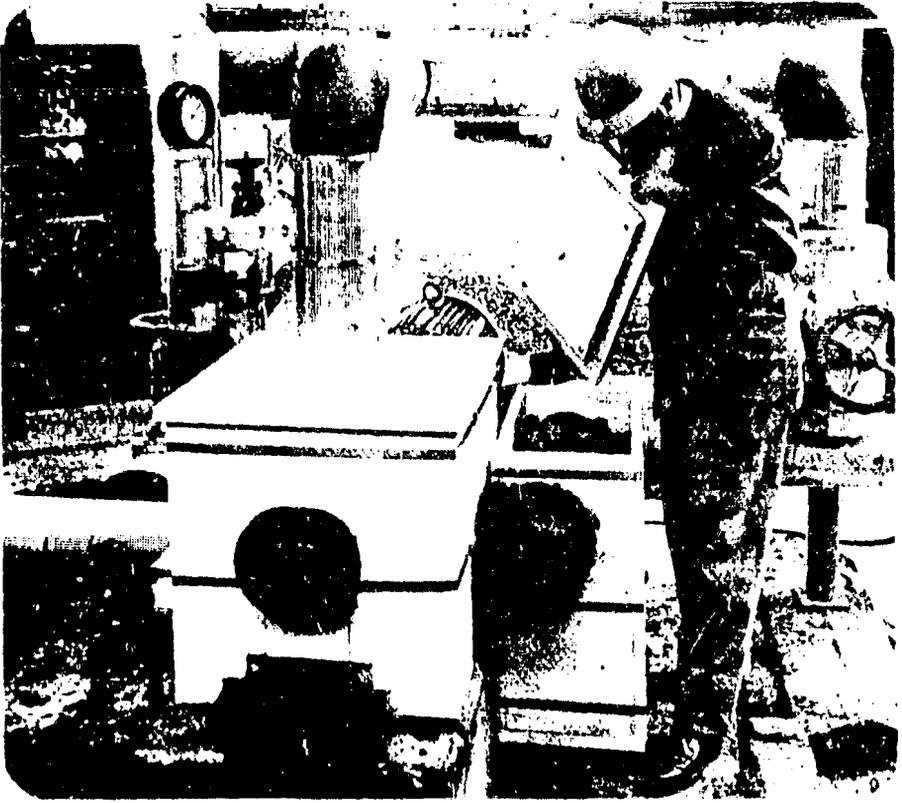


APLICACION DE LA ESPUMA AISLANTE DE URETANO

En un sólo equipo es posible utilizar dos o más formas, para obtener un sistema eficiente. Aislantes usados:

- Preformados
- Placas rígidas
- Placas semirígidas
- Aislamiento flexible
- Colchas
- Bloques
- Cementos
- Materiales de relleno
- Ladrillos aislantes

- **Preformados.**- Las secciones preformadas curvas o de formas especiales son adaptadas al equipo recortando o maquinando (Mariniti I) el aislante. El material se fija provisionalmente con adhesivo y finalmente se fija con alambre A_3 , flejes A_4 , sellos A_5 o varillas y en el caso de Mariniti I con pernos o soportes. Posteriormente se cubre con el material de acabado seleccionado. Si el acabado es algún cemento, se cubre una tela de gallinero al aislante para que sirva de base al acabado; si se hace con lámina metálica el acabado, las uniones de éste deben traslaparse al menos por 5 mm (2 pulg.) y se sellarán con un material barrera de vapor este acabado, se sujetará con flejes A_4 o sellos A_5 . FIG. (26)



AISLACION PREFORMADA CON REGISTROS PARA FACIL
ACCESO AL EQUIPO, QUE REQUIERE CONOCIMIENTOS LIN-
PIEZA O MANTENIMIENTO

PIF (26)

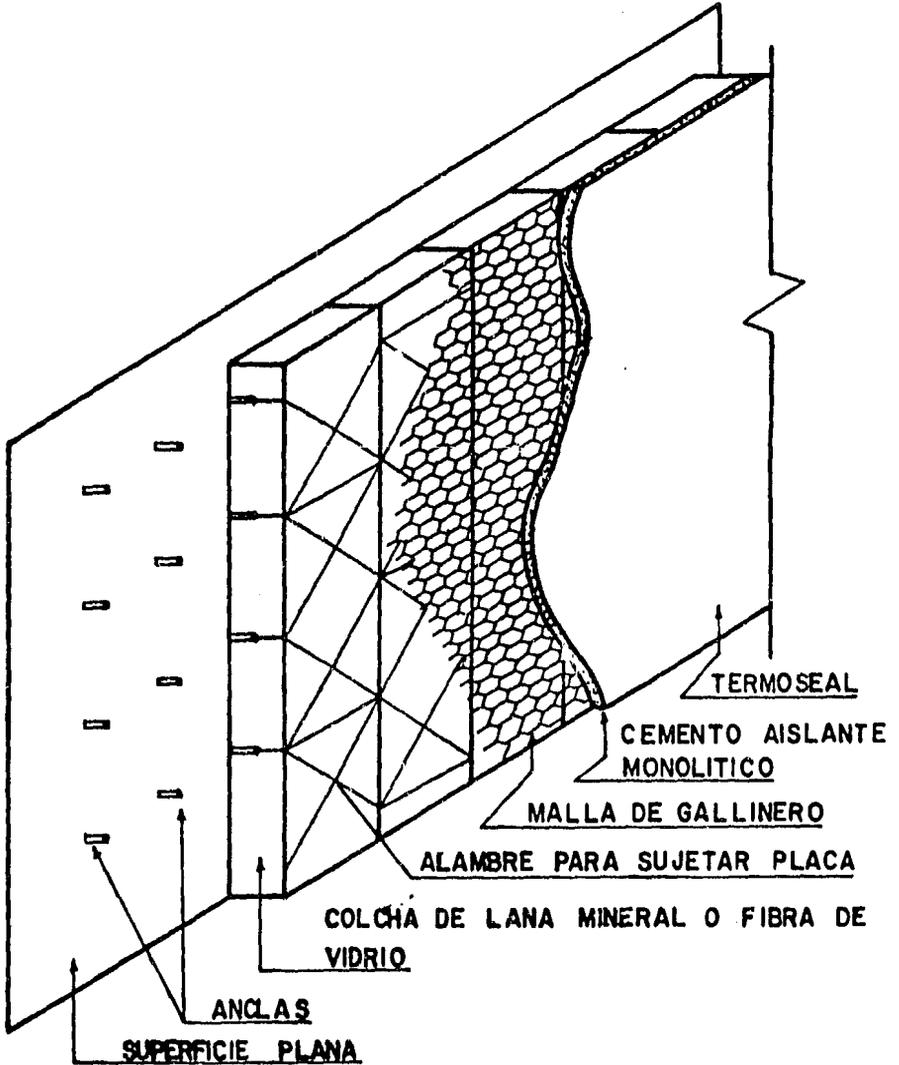
- Placas rígidas.- Este material se aplica en equipo cuya configuración presenta grandes zonas planas; fijando las placas a la superficie del equipo con flejes A_4 , montandolos sobre soportes rectangulares.
- Placas semirígidas.- Se aplica en equipo curvado que requiere fortaleza estructural y no haya abusos mecánicos, ni vibración; se aplica recortando previamente la placa para adaptarla al equipo que lo requiera.
- Aislamiento flexible.- Los rollos de este material con recubrimiento de papel Kraft, se instalan aplicando un adhesivo por franjas al equipo, para fijarla momentaneamente luego se fleja para darle mayor fijeza, el flejado debe ser ligero. Después se aplica el material de acabado, estando a la interperie se protegerá con un forro de manta y una capa de pintura impermeabilizante o cualquier otro sellador. Los rollos con recubrimiento de foil de aluminio se aplicarán de igual modo pero tomando extremas precauciones en el sellado de las juntas longitudinales y transversales, recubriendo con un material que sea barrera contra vapor. Deberán sellarse las rasgaduras accidentales con el mismo sellador barrera contra vapor.
- Colchas.- Las superficies curvas de gran tamaño como hornos, equipos para refinar aceite, calderas y conduc-

tos de aire caliente pueden ser revestidas con este aislante. El tamaño de estas es más de cinco veces mayor - que el tamaño real para preformados, de modo que son necesarias menos juntas y se facilita su aplicación. Además, los bordes de las colchas se unen entre sí, de manera que no hay uniones sueltas.

"En equipos redondos de más de 90 cm (36 pulg.) de diámetro exterior se fijan mediante flejes A_4 , sellos A_5 a distancias de 30 a 45 cm entre centros. Los bordes metálicos son unidos a tope y atados con alambre A_3 . Las colchas deben unirse entre sí con el mismo alambre.

En superficies grandes, planas o irregulares, deberán fijarse sobre sujetadores soldados apropiados. FIG. (27) A distancias de 30 a 45 cm entre centros; atense los bordes que se unen a tope en su debido lugar. Las colchas se uniran entre sí a tope con alambre A_3 . En equipos a grandes temperaturas de más de 315°C , se requieren juntas de expansión a no más de 4.88 mts. entre centros. Después se aplica el material de acabado. Para equipos bajo techo, se aplica una capa de 1.3 cm de cemento aislante y se deja secar, después se aplica un adhesivo de base de resina, manta de 170 a 227 g (6 a 8 oz). En equipos a la interperie se aplica con llana dos capas de impermeabilizantes a base de asfalto o vinilo que sea resistente a la interperie de 6.4 mm (1/8 pulg.) cuando menos, con un tejido de fibra de vi -

DETALLE DE INSTALACION
DE LANA MINERAL O FIBRA DE VIDRIO
SOBRE SUPERFICIES PLANAS



drio entre las dos capas". (4)

- Bloques.- Estos se adaptan al equipo recortandolos, se instalan asegurandolos temporalmente con cemento adhesivo después se aplica un tejido de malla exagonal que sirva de retén con los extremos traslapados para evitar amarres; o bien se sujetan al equipo con varillas de metal. FIG. (28)

Los bloques se pueden aplicar en capas dobles traslapadas para proporcionar mayor seguridad contra la pérdida de calor a través de las uniones. Otra manera de sujetarlas es alambrandolas sobre el equipo y pasando el alambre por los barrenos de pernos con cabeza agujereada soldados al equipo o por otro accesorio similar. Después se aplica el material de acabado seleccionado.

- Cementos.- Los equipos también pueden aislarse con cementos de lana mineral M - 8 o cualquier otro cemento monolítico. "Se aplica en capas de espesor no mayor de 25 mm, hasta completar el espesor requerido. Cada capa se reforzará con tela de malla metálica exagonal (tela de gallinero) galvanizada de 25 mm. Se aplicará una capa de 13 mm de cemento de acabado C_{14} , debiendose empa-

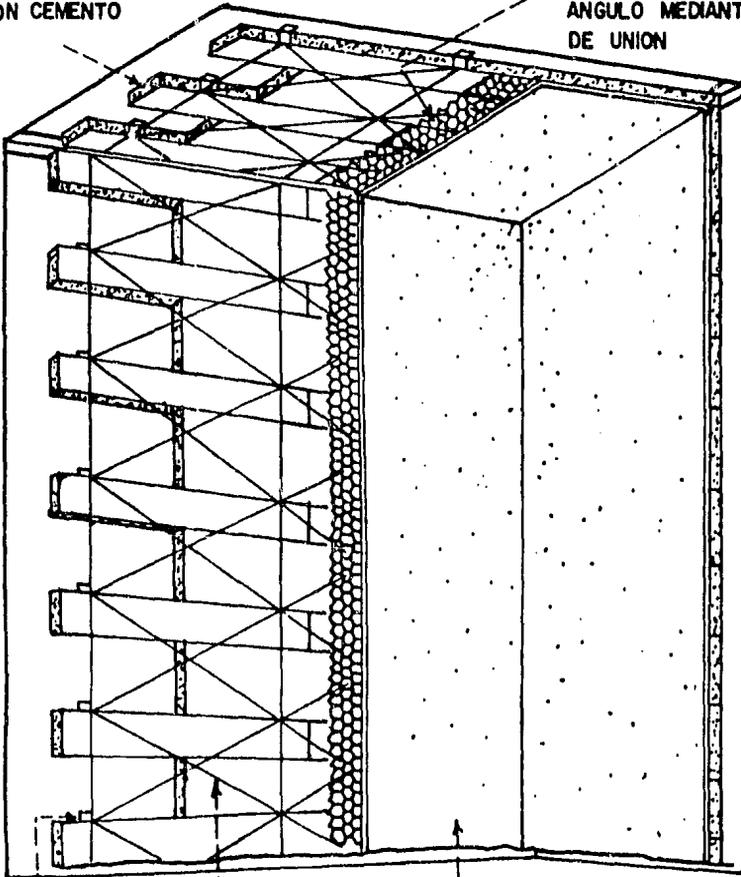
- - - - -

- (4) Folleto de vitro - fibras. Aislamientos industriales.
Especificaciones de instalación de colchonetas armadas en equipo de alta temperatura.

METODO PARA ASEGURAR CON ALAMBRE EL AISLANTE EN BLOQUES A SUPERFICIES METALICAS PLANAS

AISLANTE EN BLOQUES ASEGURADO TEMPORALMENTE CON CEMENTO ADHESIVO

TEJIDO DE ALAMBRE ASEGURADO A ABRAZADERAS EN ANGULO MEDIANTE ALAMBRE DE UNION



ABRAZADERA EN ANGULO

-- TIRANTES DE HIERRO

CEMENTO AISLANTE

FIG (28)

rejar con llana, para lograr una superficie lisa sobre la última capa de cemento aislante antes del mastique de acabado final" (5)

- Materiales de relleno.- Existen dos tipos, los que están en forma de polvo o granulados que pueden ser vertidos en el lugar y los que son fibras flojas, las cuales deben acomodarse a mano. Ambos tipos se adaptan para los casos en los que no son necesarias, ni resistencia inherente, ni rigidez estructural o donde la falta de espacio impida la utilización de toda forma solida de aislación. También se usa en las uniones de expansión gracias a su resiliencia.

El granulado se puede usar como capa intermedia entre revestimientos refractarios y las partes de acero, concreto y ladrillo de hornos y calderas. También sirve para recubrir techos de hogares, hornos, calderas y estufas. En tales casos se vierte en el lugar y se apisona para evitar hundimientos; para facilitar el apisonado se humedece el aislante.

Después se cubre con cemento para formarle una corteza superficial y evitar que se desmorone o desintegre.

- - - - -

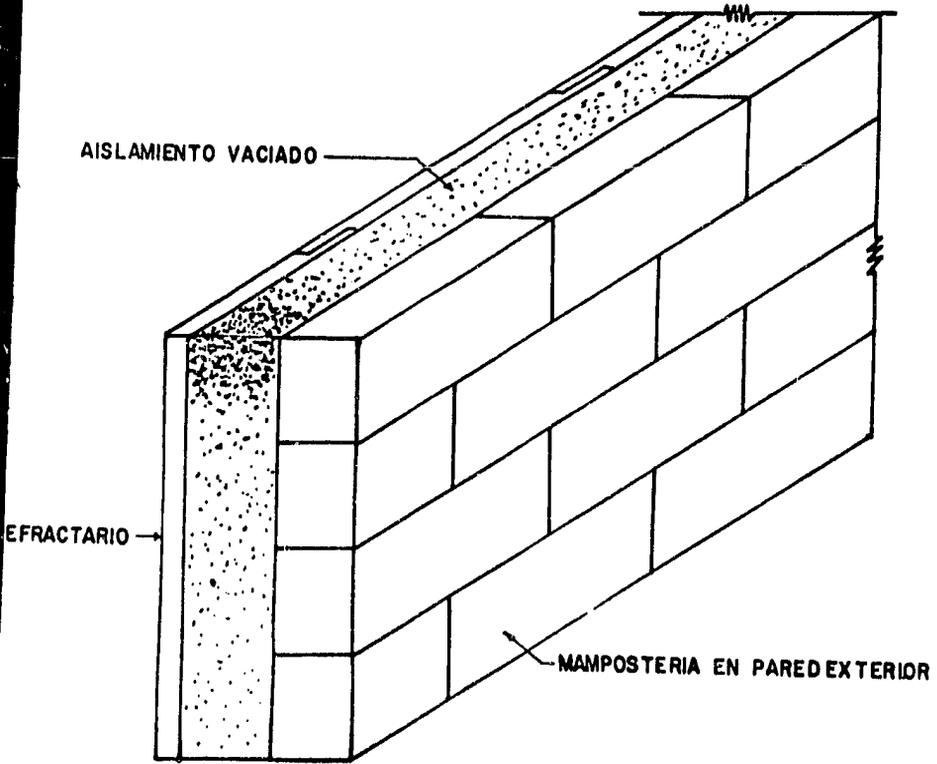
- (5) Hojas de especificaciones, clave I - 202, sección E.04.a. Pág. 14

Las fibras flojas, generalmente de lana de vidrio o de roca, se aplican en el equipo manualmente; no se asienta por vibración, ni se separa por rajaduras. Para fijarlo en las áreas de transferencia térmica se usan adhesivos y se cubre con una cubierta apropiada que lo proteja de la humedad y el abuso mecánico.

- Ladrillos aislantes.- "Se utilizan en la construcción de equipos de alta temperatura, como hornos para tratamientos térmicos, horno de foso y cubilotes. Existen dos clases: una se usa sólo como aislante y requiere de un revestimiento de ladrillo refractario y la otra utilizado como una combinación de aislante y refractario. Este último sirve para reemplazar a los ladrillos refractarios en hornos en los que las paredes no están sujetas a la acción de la escoria o a la abrasión mecánica. Esta construcción permite el uso de paredes más delgadas con menor capacidad de absorción de calor y por eso disminuye el tiempo de calentamiento y el calor perdido al enfriar los hornos" (6)

Se colocan formando una pared y unida con mortero refractario. FIG. (29)

(6) Aplicación en transmisión de calor. Cap. VII.
 Pág. 245



CROQUIS DE LA PARED EN UN HORNO

FIG (29)

III CONCLUSIONES

Del trabajo de tesis aquí desarrollado, se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1) La selección adecuada de un aislante contribuye al - ahorro de energía, ya que disminuye las pérdidas de - calor y con ello se tiene un menor consumo de combus - tibles.
- 2) Entre los puntos importantes que se deben considerar - para una buena selección de aislamiento son: Su fun - cionamiento, condiciones de trabajo del equipo y caracte - rísticas del material aislante.
- 3) Para lograr la optimización en el aislante, se presen - ta el diseño de un sistema aislante que permite se - leccionar, evaluar y aplicar al aislante correctamente obteniéndose resultados favorables en ahorro de ener - gía y consumo de combustibles.

RECOMENDACIONES

- 1) Dada la importancia de los aislantes para ahorrar ener - géticos, se recomienda que la selección del aislamien - to se efectuó, siguiendo los pasos descritos en la te - sis.

- 2) Promover cursos de capacitación para todo personal interesado o relacionado con la aplicación de aislantes térmicos, con el objeto de ahorrar consumos de combustibles, pérdidas de energía y evitar accidentes.

IV BIBLIOGRAFIA

- E.A. Krasnoschiokov, A.S. Sukomiel; Problemas de termo - transferencia. Impreso en la URSS 1977. 327 págs.
- H.J. Stoever; Applied heat transmission. Ed. Sudamerica na S.A.. Argentina 1950. 266 págs.
- Hojas de especificaciones del IMP. No. L - 202; Materia les y su aplicación para aislamiento térmico en sistemas de alta temperatura. Edición Nov. 6, 1973. 36 págs.
- Holman J.P.; Transferencia de calor. Compañía editorial continental. México 1980.
- Kreith Frank; Principios de transferencia de calor. Ed. Herrero hermanos. México 1970.
- M. Necati Ösizik; Transferencia de calor. Ed. Mc Graw - Hill Latinoamericana S.A.. Impreso en Bogotá Colombia - 1975. 542 págs.
- Manual de entrenamiento en aislamientos térmicos. Vitro fibras S. A..
- Mingot de galiana tomás; Pequeño larousse de ciencias y técnicas. Ed. Larousse. México 1981. 1056 págs.
- R. L. Guingle; Nuevo diccionario técnico y de ingeniería. Ed. C.E.C.S.A. México 1980.
- Roberston richard; Diccionario inglés - español y español inglés. Ed. Ramón sopena S.A., España 1969. 1241 págs.
- Simon and schuster's; Diccionario internacional, New - York 1973. 1605 págs.

- William G. Turner, E.E., M.E., P.E., John F. Malloy, M.E. P.E.; Thermanl insulation handbook. Ed. Mc. Graw Hill - Book Company, New York, New York 1981.

C a t á l o g o s . -

- Aislamientos flexibles de fibra de vidrio, RF - 3000 Vitrofibras S. A..
- Aislamientos industriales. Fibra de vidrio blanca. Colchonetas armadas. Temperatura de operación hasta 538 °C (1000 °F) Vitrofibras.
- Aislamientos semirígidos RF - 4000, Aislamientos rígidos RF - 7000. Vitrofibras S. A..
- Carborundum; Fiberfrax^R, asbestos free, textile products.
- Carborundum; FlexweaveTM 1000, Welding and heat curtains. E. U..
- Johns - Manville; Application refractory information products. J.M. Product Marinite.
- Johns - Manville; Insulation systems. Thermo - 12TM, Scored block insulation. E.U..
- Johns - Manville; Refractory products. CerablanketTM. E.U..
- Johns - Manville; Refractory products. CerawoolTM, blanket. E.U..
- Johns - Manville; Refractory products. Marinite I. E.U..
- Johns - Manville; Refractory products. Refractory bonding mortars. E.U..

- Johns - Manville; Refractory products. SuperexTM, block insulation. E.U..
- Pamsil. Aislamiento térmico.
- Vitroform; Aislamiento preformado para tuberías. Vitro-
fibras. S.A..
- Johns - Manville; Refractory products. Z - block refrac-
tory fiber modulus, for furnace and kiln linings. E.U..

A P U N T E S . -

- Bloque aislante PV. Supertemp Masa.
- Lana mineral para equipo y tubería. Termo asbestos. S. A.
- Max - Temp. Aislamiento preformado para tubería y equipo
termo asbestos S. A..

A

P

E

N

D

I

O

E

Propiedades y características de los aislamientos comerciales

Poliuretano

Es un plástico sintético que se prepara mezclando dos componentes químicos llamados generalmente A y B, al mezclarse reaccionan químicamente generando calor y el material se expande de 30 a 35 veces su volumen original por la generación de gas. La espuma así formada puede ser espreada o vaciada en el lugar de aplicación o puede ser moldeada y luego cortada según las necesidades.

El tiempo de curado varía con la formulación y esta a su vez depende de la técnica de aplicación. Así, por ejemplo, la espuma espreada queda completamente libre al tacto en 6 ó 8 segundos y alcanza su rigidez total en un minuto. La espuma moldeada requiere de 5 a 10 minutos para alcanzar su rigidez.

Presentaciones:

Las formas en que se presenta permite su amplia aplicación y son las siguientes:

- Placas.
- Medias cañas de poliuretano rígido y semirígido.
- Espreado en el lugar de aplicación.
- Vaciado en el lugar de aplicación.
- Preformados.

Propiedades características:

- . Temperatura límite de trabajo.- 125 °C (257 °F).

- . Conductividad térmica.- $0.023 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ($0.0133 \text{ BTU/hr pie}^{\circ}\text{F}$) a 75°C (167°F).
- . Densidad.- 35 Kg/m^3 (2.18 lb/pie^3).
- . Resistencia a la compresión.- 30 Psi con una deformación del 10%.
- . Resistencia a la tensión.- 45 Psi .
- . Estabilidad dimensional.-
 A temperatura ambiente no hay cambio.
 A 70°C (158°F) y 100% de humedad relativa, l semana -
 na 4%
 A -90°C (-130°F), seco y por 1 semana - 1%
- . Absorción de agua.- 1.1% por volumen.

Además es de fácil adaptación, adhesión tenaz sobre cualquier forma de superficie y prácticamente en cualquier material. Posée estabilidad dimensional y alta relación de resistencia a peso. Es prácticamente impermeable y autoextinguible por la incorporación de retardadores de flama, pero sin estos es combustible.

Envejece, esto es aumenta su conductividad (k) con el tiempo. Tiene malas propiedades acústicas. No resiste los ácidos. Poca resistencia al choque térmico y produce emanaciones tóxicas.

Papel de amianto corrugado

Es un mineral compuesto de silicato hidratado de calcio

y magnesio, de estructura fibrosa y cristalina obtenida de las minas de amianto en forma de finos cristales blancos y sedosos. Se da el nombre de asbesto al que los tiene grisáceos o verdosos, debido a la presencia de impurezas tales como, aluminio ú oxido de hierro.

Para separar las fibras de amianto individualmente se trituran de modo sucesivo, con muelas de fundición. Después se someten a un batido y se cardan e hilan de modo parecido a la lana cardada.

Para tener valor comercial, el amianto debe poseer fibras largas y finas, además infusibilidad, resistencia y flexibilidad.

El papel de amianto corrugado está construído por varias capas alternadas de papel corrugado y liso, cementadas en los puntos de contacto. Este material es de bajo costo y recomendable para tuberías de vapor a baja presión.

Presentación y dimensiones:

Generalmente se fábrica en medias cañas:

- Largo 91.44 cm (3 pies)

- Espesor de 2 a 8 capas

Capa normal.- 6.35 mm (1/4 de pulg.)

Capa fina.- 0.16 mm (1/16 pulg.)

- Diámetro.- Todos los tamaños normales que requieren las tuberías.

Propiedades características:

- . Es un material indicado para temperaturas no mayores de 149°C (300°F).
- . La conductividad a 38°C es de $2.408 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ($0.041 \text{ BTU/hr} \cdot \text{pie} \cdot ^{\circ}\text{F}$).
- . No debe ser sometido a abusos mecánicos o dilataciones de importancia pues las puntas del aislamiento se fracturan.

Fibra de vidrio con resina fenólica

La fibra de vidrio se obtiene fundiendo minerales de sílice en un horno y vertiendo la masa fundida en un chorro de vapor a gran velocidad o pasando la masa fundida por los pequeños orificios de una hilera. Dependiendo del uso que tendrá el diámetro de la fibra varía de 1 a 15 micrones. El producto así obtenido, es parecido a la lana y debe su baja conductividad a muchos espacios huecos existentes entre las fibras.

Con el propósito de aglutinar la fibra se usa la resina fenólica que le da consistencia y permite que sea moldeado y manejado con facilidad. Sin embargo la mezcla con resina es la causa de su baja temperatura máxima de trabajo.

Este aislamiento se encuentra en varias presentaciones, con diferentes características:

Aislamiento flexible

Material formado con fibras de pequeño diámetro y resina

termofraguante para formar la fibra tipo flexible. Tiene -
apariciencia de fieltro de color variable, desde amarillo do-
rado al café amarillento.

Presentación y dimensiones:

Hollos con recubrimientos de.-

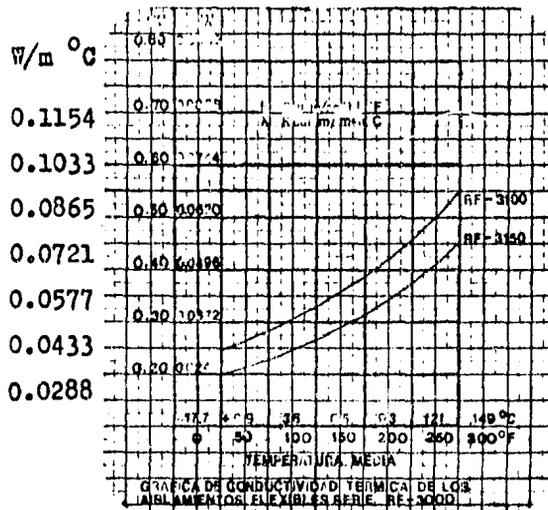
- Lámina de aluminio de 0.0635 mm (0.0025 plg.)
- Papel y aluminio de 0.0254 mm (0.001 plg.)
- Papel kraft de 80 gr/m²
- Papel krasfalto
- Neopreno

Dimensiones:

- Espesor de 2.5 a 5.1 cm (1 a 2 plg.)
- Ancho de 61 y 122 cm (24 y 48 plg.)
- Largo de 1524 cm (600 plg.)

Propiedades características:

- . Conductividad térmica.-



- . La temperatura máxima de trabajo es 232 °C (450 °F).
- . Además son dimensionalmente estables, inodoros, incombustibles, inorgánicos y no absorben humedad.

Aislamiento semirígido

Se presentan en las siguientes dimensiones:

- Largo 122 cm (48 pulg.)
- Ancho 61 y 122 cm (24 y 48 pulg.)
- Espesor:

RF - 4100 de 2.5 a 12.7 cm (1 a 4 pulg.)

RF - 4150 de 2.5 a 11.4 cm (1 a 3 3/4 pulg.)

RF - 4200 de 2.5 a 8.9 cm (1 a 2 3/4 pulg.)

El aislamiento RF - 4200 se puede obtener con recubrimiento de neopreno para interiores en ductos de aire acondicionado.

Propiedades características:

- . Densidad:

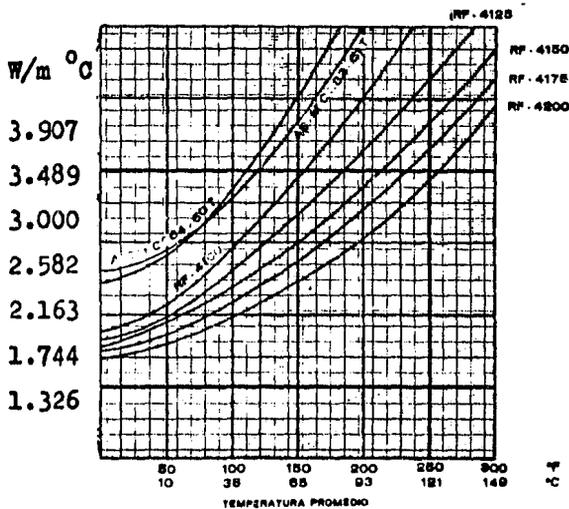
RF - 4100 16 Kg/m³ (1 lb/pie³)

RF - 4150 24 Kg/m³ (1.5 lb/pie³)

RF - 4200 32 Kg/m³ (2 lb/pie³)

- . Absorción de humedad.- Menos del 0.2% por volumen durante 96 horas a 49 °C (120 °F) y 95% de humedad relativa.

- . Temperatura máxima de trabajo.- 232 °C (450 °F)
- . Resistencia a bacterias y hongos.- No la provoca, ni la favorece.
- . Olor.- Inodoro.
- . Incombustible, inorgánico, dimensionalmente estable, no favorece la corrosión. Es resiliente debido a lo cual ocupa plenamente los espacios por aislar.
- . Conductividad.- Varía en razón inversa a su densidad - de 2.02 a 2.65 W/m °C (0.0196 a 0.0258 BTU/hr.pie. °F) según la gráfica:



Aislamiento rígido

Este material es de mayor rigidez y menor conductividad que los anteriores, pero de mayor costo.

Presentaciones:

- Ancho 61 cm (24 pulg.)
- Largo 122 cm (48 pulg.)
- Espesor:

RF - 7400 (Vidro - Fibras) de 2.5 a 9.5 cm
(3/4 a 3 pulg.)

RF - 7600 (Vidro - Fibras) de 2.5 a 6.4 cm
(1/2 a 2 pulg.)

Propiedades características:

- . Temperatura máxima de trabajo.- 232 °C (450 °F)
- . Densidad:

RF - 7400 64 Kg/m³ (4 lb/pie³)

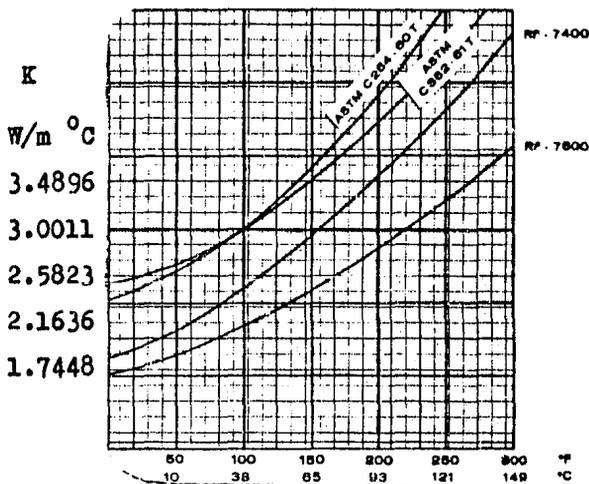
RF - 7600 96 Kg/m³ (6 lb/pie³)

- . Absorción de humedad.- Menos del 0.2% por volumen durante 96 hr. a 49 °C (120 °F) y 95% de humedad relativa.
- . Resistencia a bacterias y hongos.- No se provoca, ni favorece.
- . Olor.- Inodoro.
- . Además no favorece la corrosión, son resilientes, inorgánicos, incombustibles y dimensionalmente estables.
- . Conductividad.- A la temperatura promedio de 24 °C (75 °F) tenemos:

RF - 7400 2.1008 W/m °C (0.0203 BTU/hr.pie.°F)

RF - 7600 1.9263 W/m °C (0.0186 BTU/hr.pie.°F)

Para otras temperaturas promedio se usa la siguiente gráfica:



Aislamiento preformado para tubería

Se produce para ajustarse a la tubería de medidas comerciales, tanto de fierro como de cobre. Está compuesta de fibra de vidrio aglutinada con resina fenólica de fraguado térmico.

Presentación y dimensiones:

Se presenta en tramos de 1 m (39.4 pulg.) de longitud con dos flejes de 1.91 cm (3/4 pulg.) de ancho. Para tuberías standard de fierro, el diámetro va de 1.27 a 30.48 cm (1 a 12 pulg.). Para tubería de cobre de 1.27 a 7.62 cm (1/2 a 3 pulg.).

- Los espesores varían de 1.27 a 5.08 cm (1/2 a 2 pulg.)
- La variación de diámetros y espesores, permite colocar un preformado encima de otro cuando el espesor requerido sea mayor al obtenido normalmente.

Propiedades características:

- . Conductividad térmica.- 1.9402 W/m °C (0.0187 BTU/hr. pie. °F) a 24 °C (75 °F) de temperatura promedio.
- . Densidad.- 80 Kg/m³ (5 lb/pie³).
- . Absorción de humedad.- 0.2% por volumen en 96 hrs. a - 48.9 °C (120 °F) y 95% de H. R.

Carbonato de magnesia con 85% de magnesia

Químicamente el principal componente de este material es el carbonato de magnesio, comunmente conocido con el nombre de magnesia. La magnesia se obtiene de la roca dolomita, extrayendo de ella el carbonato de calcio y precipitando la magnesia. El precipitado se mezcla con fibra de amianto en una proporción del 85% de magnesia por el 15% de amianto, - para proporcionar la aglutinación necesaria y reforzar las propiedades que permitan al material ser moldeado. La magnesia también se obtiene en forma de cemento, que puede - usarse mezclado con agua.

Presentación y dimensiones:

Este material es posible obtenerlo en forma de medias cañas y bloques en las siguientes dimensiones:

- Medias cañas:

Largo.- 91.44 cm (3 pies).

Espesor.- Varía de 2.2 cm a 3.8 cm

. (7/8 a 1.5 pulg.) según el tamaño de la -
tubería.

Dímetros.- Varían de acuerdo a la tubería

- Bloque:

Ancho.- 7.62, 15.24 y 30.48 cm (3.6 y 12 pulg.)

Largo.- 45.72 y 91.44 cm (18 y 36 pulg.)

Espesor.- 1.27 a 10.16 cm (1/2 a 4 pulg.)

Propiedades características:

- . Conductividad térmica 0.0634 W/m °C (0.0367 BTU/hr pie °F) a 93.33 °C (200 °F).
- . Temperatura máxima de trabajo 315.56 °C (600 °F).
- . Posee buena resistencia a la compresión y al esfuerzo cortante, es un material quebradizo, requiere mayor cuidado en su manejo.
- . No es apto para usos donde esté sujeto a vibraciones.
- . En estado seco no es afectado por agentes químicos.

Fieltro de amianto laminado

Compuesto por fibras de amianto y partículas muy finas de esponja molida. Tiene la resistencia suficiente para ser usado donde existen vibraciones excesivas o gran abuso mecánico.

Presentación y dimensiones:

Se obtiene en forma de placas y en secciones preformadas para tubería. Son fabricadas sobreponiendo 40 pliegos de fieltro por pulgada de espesor. Las secciones son he

chas enrollando las capas una sobre otra y cementandolas luego se cortan a lo largo por un solo lado, si es para tubería cuyo diámetro es menor de 7.62 cm (3 pulg.) o -- por los dos lados (medias cañas) si es de mayor diámetro. Las secciones se fabrican en las siguientes dimensiones:

- Largo.- 91.44 cm (3 pies)
- Espesor.- 2.54 a 7.62 cm (1 a 3 pulg.)

Para servicio de interiores, las secciones vienen con envoltura de cañamazo aseguradas con fajas barnizadas de bronce.

Para usos a interperie llevan envolturas impermeables de amianto.

Propiedades características:

- . Conductividad térmica.- $0.0577 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ($0.03 \text{ BTU/hr pie } ^\circ\text{F}$) a $37.8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($100 \text{ } ^\circ\text{F}$).
- . Temperatura máxima de trabajo.- $682.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($700 \text{ } ^\circ\text{F}$).
- . Densidad.- 480.57 Kg/m^3 (30 lb/pie^3).
- . Posee alta resiliencia o flexibilidad.
- . Si el material se moja recuperará su propiedad una vez seco.
- . Es pesado y resistente

Fibra de amosita moldeada

La amosita es un tipo especial de fibra de amianto un po co más larga de lo común, es fabricada para obtener un ais-

lante con buena resistencia estructural. Generalmente es - necesario encerrarla dentro de un soporte mecánico para que se mantenga en su lugar. Su uso es limitado debido a su al to costo.

Presentación:

- Se obtiene en forma de placas y preformados para tubería.

Propiedades características:

- . Conductividad térmica.- $0.1427 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
($0.0825 \text{ BTU/hr.pie. } ^\circ\text{F}$)
- . Temperatura máxima de trabajo.- $399 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($750 \text{ } ^\circ\text{F}$).

Placa aislante a base de lana mineral

Se fabrica a base de lana mineral para alta temperatura, unida con aglutinantes inorgánicos resistentes al calor. La fibra alcanza uniformemente una longitud máxima de 11.43 cm (4.5 pulg.). Cuando el material es instalado y el equipo llega a tener una temperatura de $232 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($450 \text{ } ^\circ\text{F}$) se produce una disipación parcial de aglutinante que no afecta la eficiencia térmica.

Presentación y dimensiones:

Se obtiene en placas:

- Ancho.- 61 cm (24 pulg.)
- Largo.- 122 cm (48 pulg.)

- Espesor.-

TM - 4	..	2.54 a 15.24 cm	(1 a 6 pulg.)
TM - 6	..	2.54 a 10.16 cm	(1 a 4 pulg.)
TM - 8	..	2.54 a 7.62 cm	(1 a 3 pulg.)
TM - 10	..	2.54 a 6.35 cm	(1 a 2.5 pulg.)
En incrementos de 1.27 cm (0.5 pulg.)			

Propiedades características:

- . Absorción de humedad.- Nada.
- . Absorción de agua.- Ninguna.
- . Corrosividad.- No la ocasiona, ni la tolera.
- . Resistencia al fuego.- Incombustible.
- . Temperatura máxima de trabajo.- 426 °C (800 °F)
- . Densidad nominal.-

TM - 4	..	64.10 Kg/m ³	(4 lb/pie ³)
TM - 6	..	96.12 Kg/m ³	(6 lb/pie ³)
TM - 8	..	128.23 Kg/m ³	(8 lb/pie ³)
TM - 10	..	160.28 Kg/m ³	(10 lb/pie ³)

- . Vibración.- Cuando se instala apropiadamente, la estructura fibrosa no se deteriora por la vibración del equipo, ni por las temperaturas normales.

Temperatura		Conductividad							
		K en W/m °C y k en BTU/hr pie °F							
°C	°F	TM - 4		TM - 6		TM - 8		TM - 10	
		K	k	K	k	K	k	K	k
38	100	.029	.017	.027	.016	.027	.016	.027	.016
93	200	.039	.023	.036	.021	.036	.021	.036	.021
149	300	.050	.029	.046	.027	.043	.025	.042	.024
205	400	.063	.037	.058	.033	.055	.032	.053	.031
260	500	.078	.045	.071	.041	.066	.038	.065	.037
316	600	.094	.054	.085	.049	.079	.046	.078	.045

Fibra de vidrio sin resina fenólica

Aislamiento fabricado a base de fibra de vidrio impregnada con muy pequeñas cantidades de aceite lubricante, que lo hace manejable y le da resistencia a la abrasión. Es un producto de color blanco con apariencia semejante a el algodón. Para usos especiales, el aceite puede ser eliminado con bencina o tetracloruro de carbono.

Este material puede ser obtenido en las siguientes presentaciones de Vitro Fibras:

Fibra de vidrio blanca RW - 4000

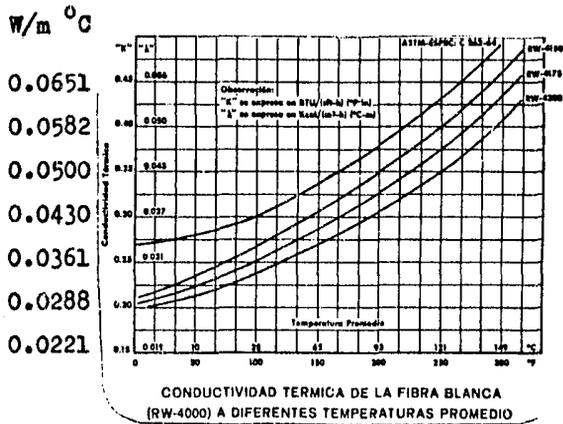
Se presenta en rollos con envoltura de papel Kraft en -

las dimensiones siguientes:

Material	- ESPESOR		ANCHO		LARGO	
	Pulg.	Cms.	Pulg.	Cms.	Pulg.	Mts.
RW-4100	3/4 a 5/4	1.9 a 13.3	24 y 48	61 y 122	600 y 1200	15.2 y 30.4
RW-4125	3/4 a 4 1/4	1.9 a 10.8	24 y 48	61 y 122	600 y 1200	15.2 y 30.4
RW-4150	3/2 a 3 1/2	1.3 a 8.9	24 y 48	61 y 122	600 y 1200	15.2 y 30.4
RW-4175	1/2 a 3	1.3 a 7.6	24 y 48	61 y 122	600 y 1200	15.2 y 30.4
RW-4200	1/2 a 2 1/2	1.3 a 6.4	24 y 48	61 y 122	600 y 1200	15.2 y 30.4
RW-4250	1/2 a 2	1.3 a 5.1	24 y 48	61 y 122	600 y 1200	15.2 y 30.4
RW-4300	1/2 a 1 3/4	1.3 a 4.4	24 y 48	61 y 122	600 y 1200	15.2 y 30.4

Propiedades características:

- . Temperatura máxima de trabajo.- 538 °C (1000 °F).
- . Calor específico.- 13.96 W . hr/Kg °C (0.20 BTU/lb °F)
- . Absorción de humedad.- Menos del 2% en volumen durante 96 hrs. a 48.9 °C (120 °F) y 95% de H. R.
- . Resistencia a la vibración.- No sufre deterioración.
- . Conductividad térmica.- Varía de 0.0397 a 0.0326 W/m °C (0.023 a 0.019 BTU/hr pie °F) de acuerdo a las variaciones de densidad, de 16 a 48 Kg/m³ (1 a 3 lb/pie³). Para otras temperaturas promedio la conductividad se muestra en la siguiente gráfica:



. Densidad.-

RW - 4100	..	16.02 Kg/m^3	(1.0 lb/pie ³)
RW - 4125	..	20.02 Kg/m^3	(1.25 lb/pie ³)
RW - 4150	..	24.03 Kg/m^3	(1.50 lb/pie ³)
RW - 4175	..	28.03 Kg/m^3	(1.75 lb/pie ³)
RW - 4200	..	32.04 Kg/m^3	(2.00 lb/pie ³)
RW - 4250	..	40.05 Kg/m^3	(2.50 lb/pie ³)
RW - 4300	..	48.06 Kg/m^3	(3.00 lb/pie ³)

- . Además de las anteriores propiedades se pueden mencionar las siguientes: resiliencia, flexibilidad, no favorece la corrosión, es inorgánico, ligero y de larga duración.

Colchonetas armadas de fibra de vidrio

Se fabrican con fibra de vidrio blanca con distintos recubrimientos metálicos siendo los siguientes:

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

Donde la cara interior estará en contacto con la superficie por aislar y la exterior hacia el medio ambiente.

Las dimensiones de las colchonetas para todos los tipos son las siguientes:

- Largo:

RW - 4300 .. 2.44 m (8 pies).

RW - 4600 .. 2.44 m (8 pies).

- Ancho:

RW - 4300 .. 61 cm (2 pies).

RW - 4600 .. 61 cm (2 pies).

- Espesor:

RW - 4300 .. 2.5 a 10.2 cm (1 a 4 pulg.)

RW - 4600 .. 2.5 a 10.2 cm (1 a 4 pulg.)

Propiedades características:

- . Densidad.- El RW - 4300 de 48 Kg/m^3 (3 lb/pie^3) y el RW - 4600 de 96 Kg/m^3 (6 lb/pie^3).
- . Conductividad térmica.-
El RW - 4300 tiene $0.0326 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ($0.0188 \text{ BTU/hr pie } ^\circ\text{F}$) y el RW - 4600, $0.0322 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ($0.0186 \text{ BTU/hr pie } ^\circ\text{F}$) a $38 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($100 \text{ } ^\circ\text{F}$).
- . Temperatura máxima de trabajo.- $538 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($1000 \text{ } ^\circ\text{F}$).
- . Posee resistencia a la vibración, no favorece la corrosión, fácil instalación y obtención de acabados tersos.

Max Temp

Material compuesto de carlita, fibras minerales y silicato de sodio. Moldeado para aplicarse en tubería y equipo.

Presentación y dimensiones:

- Medias cañas:

Largo.- 91 cm (3 pies).

Díametro.- Tubería standard de 1.27 a 30.5 cm
(0.5 a 12 pulgadas.)

Espesor.- Varía de 1.27 a 10.2 cm
(0.5 a 4 pulgadas.)

Cuando el espesor requerido sea mayor de los que se ofrecen, puede colocarse un preformado encima de otro formando añadiduras. Se obtiene también segmentos curvos para superficies cilíndricas.

- Bloques:

Largo.- 91.4 cm (36 pulgadas).

Ancho.- 15.2 cm (6 pulgadas).

Espesor.- Varía de 2.54 a 8.89 cm (1 a 3.5 pulg.)

Propiedades características:

- Densidad.- 320.37 Kg/m^3 (20 lb/pie^3).
- Conductividad térmica.- $0.0894 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ ($0.0517 \text{ BTU/hr - pie } ^\circ\text{F}$).
- Límite de temperatura.- $30 \text{ a } 650 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($86 \text{ a } 1202 \text{ } ^\circ\text{F}$).
- Encogimiento mínimo.- 2%.
- Corrosión al acero.- No se provoca.
- Resistencia al fuego.- Incombustible.
- Inorgánico, resistente a la humedad y de fácil aplicación.

Aislamiento estructural incombustible Marinite 1

Material libre de asbesto, hecho de silicato de calcio con rellenos inertes y agentes reforzantes. Se combina la alta resistencia estructural y magníficos valores térmicos aislantes. Puede ser cortado, taladrado y maquinado para dar origen a preformados especiales que podrán ajustarse a diferentes equipos térmicos e inclusive para construirlos.

Presentación y dimensiones:

Se presenta en forma de panel con un acabado superficial arenoso por ambos lados, en las siguientes dimensiones:

- Largo.- 243.8 cm (8 pies).
- Ancho.- 121.9 cm (4 pies).
- Espesor.- 1.27, 1.9, 2.5, 3.8 y 5 cm
(0.5, 0.75, 1, 1.5 y 2 pulg.)

Propiedades características:

- . Densidad nominal.- 736.87 Kg/m^3 (46 lb/pie³).
- . Rango de propagación de fuego.- 0.
- . Temperatura máxima de trabajo.- $650 \text{ }^\circ\text{C}$ (1202 $^\circ\text{F}$).
- . No es afectado por la humedad, mojaduras, corrosión, - no se pudre, resiste daños, abusos de instalación, ligero, incombustible, no necesita pintura, ni otro tratamiento preservativo.

Insulbestos a base de silicato de calcio

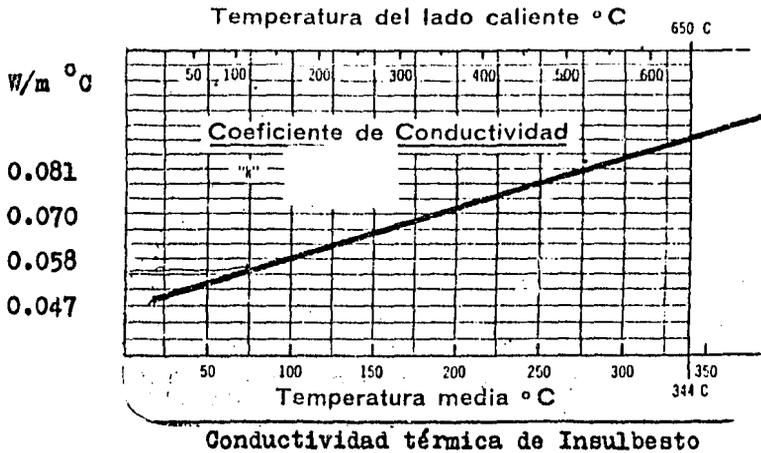
Para su fabricación se utilizan como materias primas la carlita, material a base de roca sílica volcánica, celite - producto de tierra diatómacea, asbesto que es incluido como refuerzo para tramar y proporcionar resistencia mecánica.

Presentación y dimensiones:

- Se presenta en forma de preformados, medias cañas, cuadrantes, sextantes y bloques. Con las siguientes dimensiones.-
- Tramos.- Para diámetros nominales de tuberías de 1.27 a 50.8 cm (1/2 a 20 pulgadas).
- Espesores.- 2.54 a 10.2 cm (1 a 4 pulg.) en incrementos de 1.27 (1/2 pulg.)
- Longitud 91.4 cm (36 pulg.)

Propiedades características:

- . Densidad promedio.- 218 Kg/m^3 (13 lb/pie^3)
- . Temperatura límite de operación.- $700 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1292 \text{ }^\circ\text{C}$)
- . Módulos de ruptura.- 6.4 Kg/cm^2 (95 lb/pulg^2).
- . Encojimiento lineal.- 1.5%
- . Resistencia a la compresión.- 5% con 11.2 Kg/cm^2 (165 lb/pulg^2).
- . Es inorgánico y totalmente incombustible.
- . No lo afecta el ambiente húmedo.



Lana mineral

Fibra mineral sintética fabricada a partir de rocas basálticas mezclándolas con cal y carbón de coque, el cual se usará como combustible, se funden en un horno de cubilote a 1450 °C (2600 °F) aproximadamente. El material fundido fluye hacia discos giratorios cuya fuerza centrífuga transforma el material en fibras (quince veces más delgadas que un cabello). Durante el proceso de centrifugación se le esprea aceite para retirar el polvo y hacerlo repelente al agua.

Presentación y dimensiones:

- Lana mineral granulada.
- Solapa de lana mineral.
- Colcha armada con malla metálica en ambas caras.

- Colcha respuntada con metal en una cara ya sea malla hexagonal o metal desplegado. Densidades de 100, 150 y 200 Kg/m³ (6, 9 y 12 lb/pie³).
- Colcha respuntada a papel kraft, con papel kraft cosido a una cara, densidad de 64 Kg/m³ (4 lb/pie³).

Propiedades características:

- . Temperatura máxima de servicio.- 700 °C (1292 °F).
- . Encogimiento lineal.- 1% a 200 °C (360 °F).
- . Absorción de humedad.- 0.2% por peso a 100 °C (180 °F) y 100% de humedad relativa en 72 hrs.
- . Resistencia al fuego.- Incombustible.
- . Corrosión al acero.- Ninguna.
- . Resiliencia.- 98%
- . Conductividad térmica media a 150 °C (300 °F) (0.055 W/m °C (0.032 BTU/hr pie °F)).

Pamsil

Fabricado con millones de celdas vitrificadas de perlita expandida y aglutinadas con silicato de sodio. Especial para equipo y tubería de acero inoxidable, previene la acción corrosiva y desintegradora del acero deteniendo la migración de iones de cloro hacia la superficie metálica.

Presentación y dimensiones:

- Medias cañas.-

Longitud.- 0.9144 m (3 pies).

Díametros.- En tubería de 1.27 a 50.8 cm
(0.5 a 20 pulg.)

Espesores.- 2.54 a 12.7 cm (1 a 5 pulg.)
en incrementos 1.27 cm (0.5 pulg.)

- Bloques.-

Longitud.- 0.9144 m (3 pies).

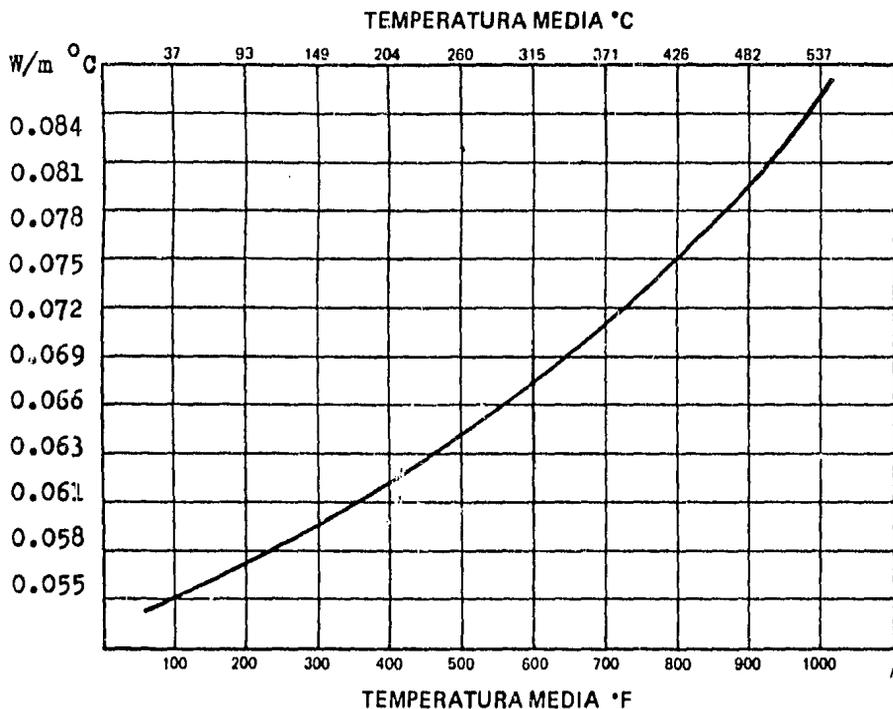
Ancho.- 15.24, 30.48, 45.72 cm (6, 12 y 18 pulg.)

Espesor.- 2.54 a 13.97 cm (1 a 5.5 pulg.) en incre-
mentos de 1.27 cm (0.5 pulg.)

Propiedades características:

- . Densidad seca.- 0.22 gr/cm^3 (13.75 lb/pie^3).
- . Resistencia a la flexión.- 3.86 Kg/cm^2 (55 Psi).
- . Resistencia a la compresión (5% Def.)- 6.32 Kg/cm^2
(90 Psi).
- . Encogimiento lineal.- 0.74% a $815.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1500 \text{ }^\circ\text{F}$).
- . Temperatura máxima de trabajo.- $760 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1400 \text{ }^\circ\text{F}$).
- . Es insoluble en agua fría y caliente, no ataca al acero inoxidable, libre de asbesto para evitar la contaminación, incombustible e inorgánico, posee gran resistencia mecánica y química.

- . Conductividad térmica.- Varía respecto a la temperatura media como se muestra en la gráfica:



Good temp 1500

Hecho de "Perlita expandida, lo cual involucra un proceso de crear células de aire vitrificado en una forma específicamente desarrollada, fibras inórganicas lo refuerzan y contribuyen a dar una mínima contracción.

Presentación y dimensiones:

- Medias cañas.-

Longitud.- 1 m (39.37 pulg.).

Espesor.- 2.54 cm a 10.16 cm (1 a 4 pulg.)

Para diámetros de tubería de hierro de 1.27 cm a 60.96 cm (0.5 a 24 pulg.).

- Bloques.-

Ancho.- 15.24 cm y 30.48 cm (6 y 12 pulg.)

Largo.- 1 m (39.37 pulg.)

Espesores.- 2.54 cm a 10.16 (1 a 4 pulg.) en incrementos de 1.27 cm (0.5 pulg.)

Estriado en "V" 12 pulgadas de ancho.

Propiedades características:

. Conductividad térmica expresada en $W/m^{\circ}C$

149 $^{\circ}C$ (300 $^{\circ}F$)063

260 $^{\circ}C$ (500 $^{\circ}F$)079

371 $^{\circ}C$ (700 $^{\circ}F$)097

. Límite de temperatura máxima 815 $^{\circ}C$ (1500 $^{\circ}F$). Para uso continuo o cíclico.. Densidad (seco).- 170 Kg/m^3 (10.6 lb/pie³).

. Resistencia a la compresión con 5% de deformación 6.21 bar (90 Psi).

. Contracción lineal a:

648 $^{\circ}C$ (1200 $^{\circ}F$) por 24 hr 70 %

815 $^{\circ}C$ (1500 $^{\circ}F$) por 24 hr 1.6%

- . Absorción de agua por volumen sumergido 24 hr .. 2.7%
- . Por volumen a 90% de humedad relativa 4 semanas 1.30%
- . Resistencia a ácidos (sumergido 24 hrs.) en 25% ácido sulfúrico o hidroc্লórico ... sin efecto.
- . A prueba de humedad, fuego, protege contra corrosión, no contiene asbestos, aplicación versátil, alta resistencia y flexibilidad.

Block acanalado

Compuesto de silicato de hidrocálcio, gran resistencia estructural, es insoluble en agua y además es ideal para equipos a temperaturas demasiado altas.

Presentación y dimensiones:

- Block acanalado (Jhons - manville termo 12) se proporciona plano con tres muescas en forma de V, marcas moldeadas, longitudinalmente centradas sobre una de las orillas. Esto permite partirlo basándose en las muescas marcadas de modo que esos bloques se adapten a los rangos diametrales siguientes.-

86.0 cm (34 pulg.) a 457.0 cm (180 pulg.)

Todos los bloques con muescas son de.-

30.5 cm X 91.5 cm (12 X 36 pulg.)

En los siguientes espesores.-

- 3.8 cm (1.5 pulg.)
- 5.1 cm (2 pulg.)
- 6.4 cm (2.5 pulg.)
- 7.6 cm (3 pulg.)
- 8.9 cm (3.5 pulg.)
- 10.2 cm (4 pulg.)

Las muescas son de 1.0 cm (3/8 de pulg.) de ancho -
aproximadamente y remata en cero al final de la hendi-
dura. Son marcadas a 7.7 cm (3 pulg.) de uno de los -
lados.

Propiedades características:

- . Densidad 208 Kg/m³ (13 lb/pie³).
- . Resistencia transversal 60 Psi
- . Resistencia a la compresión 200 Psi para producir 5%
basado en el block de 3.8 cm (1.5 pulg.) compresión.
- . Temperatura máxima de servicio. 815 °C (1500 °F).
- . Resistente al fuego.
- . Encojimiento lineal 1.1% después de 24 hrs.
remojado a 650 °C
(1202 °F), 1.8% a 815 °C
(1500 °F).
- . Conductividad térmica:

Temperatura media

K

$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	W/m^2 $^{\circ}\text{C}$	BTU. pulg./hr. pie ² . $^{\circ}\text{F}$
38	100	0.055	0.38
93	200	0.059	0.41
149	300	0.063	0.44
205	400	0.069	0.48
260	500	0.076	0.53
316	600	0.083	0.58
370	700	0.094	0.65
427	800	0.102	0.71
482	900	0.112	0.78
538	1000	0.123	0.86

Block aislante superex

Producto fabricado de una combinación de silice, cal, arcilla y fibras de refuerzo. No contiene fibras de asbesto, no son solubles en agua y la humidificación no la afecta.

Presentación y dimensiones:

Se presenta en forma de block en los siguientes tipos.-

- Superex 2000 .- Posee alta densidad y bajo contenido de oxido de calcio. Diseñado para funcionar con poco encojimiento a una temperatura mayor de 1093 $^{\circ}\text{C}$ (2000 $^{\circ}\text{F}$).

- Superex 1600 .- Tiene alto contenido de oxido de calcio y menos densidad que el anterior. Posee mejor resistencia y propiedades aislantes para usarse a temperaturas que no excedan los 871 °C (1600 °F).

Dimensiones.-

	Largo X Ancho	
- Superex 2000	30.8 X 91.4 cm (12 X 36 pulg)	
	15.2 X 91.4 cm (6 X 36 pulg)	
	30.8 X 45.7 cm (12 X 18 pulg)	
- Superex 1600	45.7 X 91.4, 30.8 X 91.4 y	-
	15.2 X 91.4 cm (18 X 36,	-
	12 X 36 y 6 X 36 pulg.).	

- Espesor.-

Con incrementos de 1.27 cm (1/2 pulgada).

Superex 2000 de 2.5 a 12.7 cm (1 a 5 pulg.)

Superex 1600 de 2.5 a 10.1 cm (1 a 4 pulg.)

Propiedades características:

Propiedades	Superex 2000	Superex 1600
Temperatura normal de servicio	1093 °C (2000 °F)	871 °C (1600 °F)
Módulo de ruptura	45 lb/pulg ²	65 lb/pulg ²
Densidad	24 lb/pie ³	14 lb/pie ³

Propiedades	Superex 2000	Superex 1600
Resistencia a - la compresión con 5% de defor <u>mación</u> .	130 lb/pulg ²	165 lb/pulg ²
Conductividad - térmica a - 537.7 °C - (1000 °F).	0.0994 W/m °C	0.1238 W/m °C

Además se puede cortar y adaptar a cualquier forma en -
especial.

Manta de ceralana

Hecha de largas fibras refractarias de ceralana compuestas de alumina, sílice y otros óxidos refractarios. No incluye aglutinantes o riveteados, lo que permite que pueda ser expuesto continuamente a 871 °C (1600 °F), en combus-tiones de condiciones normales de oxidación.

Presentación y dimensiones:

- Ancho.- 61 y 122 cm (24 y 42 pulg.)
- Largo.- 7.68 m (25 pies).
- Espesor.- 1.27, 2.54, 3.81 y 5.08 cm
(1/2, 1, 1 1/2 y 2 pulg.)

Propiedades características:

- . Temperatura normal de servicio.- En atmósfera oxidante 871 °C (1600 °F).
- . Punto de fusión.- Más de 1648.8 °C (3000 °F).
- . Calor específico.-

Temperatura		Calor específico BTU/lb °F
°C	°F	
93	199.4	0.20
537.7	1000	0.25
871	1600	0.27

- . Variación lineal en % durante 24 hrs.-

Temperatura de humidificación		%
°C	°F	
648	1198.4	-----
760	1400	0.17
871	1600	3.50
898.8	1650	12.70

Ceramanta

Manta de fibra refractaria sin riveteado, compuesto principalmente de silicato de alumina y dióxido de titanio.

Presentación y dimensiones:

Se presenta en rollos con las siguientes dimensiones.-

- Ancho.- 61 y 122 cm (24 y 48 pulg.).
- Largo.- 7.62 m (25 pies).
- Espesor.- 0.63, 1.27, 2.54 y 3.81 cm (0.25, 0.5, 1, - 1.5 pulg.).

Propiedades características:

- . Conductividad térmica.- Varía con la densidad y la temperatura, se obtiene en W/m °C (BTU/hr pie °F).

Temperatura promedio °C °F		Densidad en Kg/m ³ (lb/pie ³)			
		48 (3)	64 (4)	96 (6)	128.2 (8)
		Conductividad			
260.0	500	0.089	0.078	0.062	0.054
		(0.052)	(0.045)	(0.036)	(0.032)
537.8	1000	0.180	0.160	0.127	0.104
		(0.104)	(0.093)	(0.073)	(0.060)
815.6	1500	0.315	0.287	0.232	0.179
		(0.182)	(0.166)	(0.134)	(0.103)
1093.3	2000	0.474	0.448	0.377	0.278
		(0.272)	(0.259)	(0.218)	(0.161)

- . Densidad.- 48, 64, 96 y 128.2 Kg/m³ (3, 4, 6 y 8 lb/pie³).

. Resistencia a la tensión.- Varía con la densidad y el espesor del modo siguiente.-

Espesor		Densidad Kg/m ³ (lb/pie ³)			
cm	pulg	48 (3)	64 (4)	96 (6)	128.2 (8)
1.27	0.5	--	0.0385	0.0630	0.0840 Bar
			(5.5)	(9.0)	(12) lb/pie ²
2.54	1.0	0.0280	0.035	0.0490	0.0560 Bar
		(4.0)	(5.0)	(7.0)	(8.0) lb/pie ²