



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**"Aislantes Térmicos-Proceso de
Elaboración"**

*Revisado y aprobado por el
Comité de Examinación*

TRABAJO MONOGRAFICO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
ALBERTO VENEGAS MANCILLA

México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

CAPITULO 1 :

Introducción	1
Generalidades teóricas	3

CAPITULO II : Especificaciones de los aislantes

Calor	6
Formas de transferencia de calor	7
Cantidad de energía calorífica que se trans- mite	9

CAPITULO III : Clasificación de los aislantes térmicos

Consideraciones	21
Clasificaciones de acuerdo a su constitu- ción y a su rango de operación	22
Efecto de la conductividad térmica	26
Cantidad de calor perdido	30
Cálculo del espesor económico	45

CAPITULO IV : Propiedades del aislante elaborado

Descripción de las propiedades de los dife- rentes aislantes	54
---	----

CAPITULO V : Procesos de elaboración de aislantes térmicos

Corcho	61
Fieltro de pelo	62
Aislamiento reflector	62
Perlita expandida-fibra de asbesto	63
Plásticos	64
Lana mineral	66
Fibra de vidrio	68

Silicato de calcio hidratado	72
Refractarios	75
CAPITULO VI : Seguridad Industrial en los procesos de - aislamiento térmico	
Descripción general de la seguridad Indus _trial en un proceso	85
CAPITULO VII : Usos y aplicaciones de los aislantes -- térmicos	
Usos	91
Aplicaciones	94
CAPITULO VIII : Conclusiones	109
CAPITULO IX : Bibliografía	111

INTRODUCCION

En los procesos industriales para la elaboración de los diversos productos es un requisito contar con la energía térmica necesaria para elaborar los productos o utilizar en servicios dentro de la planta de proceso, para generar dicha energía se utiliza un sistema cuya materia prima son los combustibles, tales como gas, diesel, carbón, etc.

De esta energía es necesario aprovechar la mayor cantidad posible en el proceso de fabricación, pero la dificultad para lograrlo esta en que antes de usar la energía esta se puede perder en diversas formas de transmisión, en menor o mayor grado, repercutiendo esa cantidad de energía gastada en la economía del proceso.

Si en un sistema se tienen pérdidas de calor también habrá pérdidas de combustible, debido a la relación que hay entre ambos.

De manera que se busca un medio para minimizar el gasto extra de combustible utilizando en los equipos materiales que impidan el desperdicio de calor o energía térmica, o sea como un medio de prevención de pérdidas de calor, combustible, y generar como consecuencia un ahorro en la economía del proceso industrial.

Entonces la principal razón del aislamiento térmico es el ahorro de la energía térmica, pues el incremento en los precios de combustible requiere de un menor gasto de este y un aprovechamiento óptimo del calor generado, haciendo énfasis en este punto, es de mucha utilidad el uso del espesor económico de aislamiento, que es aquel donde las pérdidas de calor son menores

para un aislamiento dado y la energía aprovechada es la máxima.

El aislamiento se usa para mantener las temperaturas uniformes en los arreglos de equipos para reacciones químicas, -- prevenir condensación de gases, mantener el vapor sobrecalentado en las líneas de suministro a las turbinas, o en chimeneas prevenir la corrosión del metal.

Además de controlar un proceso en su efecto térmico, también se usa para mantener ciertas condiciones de temperatura -- constante para protección de personal que labore cerca de las -- zonas donde existe gran intercambio de energía térmica, también -- se aísla para propiciar un mejor ambiente de trabajo, o partes de equipos que quedan expuestos a el calor, para cada función a desempeñar el aislante debe ser el adecuado para resistir las condiciones de operación.

GENERALIDADES

Los aislantes térmicos son malos conductores del calor, esto se debe a que en su estructura contienen espacios vacíos, formados por innumerables celdas o burbujitas de material que tienen aire en su interior, el aire es un mal conductor y el medio aislante más común, al encontrarse un cuerpo con una gran parte de él como poros llenos de aire, actuará oponiéndose al flujo de calor, expresado de otra manera funciona como una resistencia.

El calor es el resultado de el movimiento violento de las moléculas que componen a una substancia, el aire en reposo puede conducir el calor pero el proceso es tan lento que se efectúa en un tiempo considerable, generalmente transfiere el calor por radiación, esta forma de transmisión es independiente de la circulación de un fluido y de la actividad molecular de una substancia.

Si una superficie se encuentra rodeada de espacios pequeños de aire repartidos uniformemente a través de ella, el aire caliente no se desplaza con facilidad al tener un espacio reducido, de manera que el cuerpo solo entrega una pequeña parte de la cantidad de calor que se filtra por él y eleva la temperatura exterior en muy pocos grados.

Los primeros materiales que se aplicaron como aislantes estaban constituidos en su mayoría por materiales naturales, como corcho, aserrin, fibras vegetales, cáscaras de semillas en forma de colchoneta con algunas cubiertas, mezclas de arcillas, fibra de yute y cabello de animales que proporcionaban resistencia mecánica, lana de oveja y cemento ceñida a la superficie y

cubiertas con manta como vendaje, leños o troncos de árbol huecos para aislar tuberías subterráneas.

Todos ellos de aplicación a temperaturas moderadas, el conocimiento de las propiedades térmicas del carbonato de magnesia permitió utilizar cubiertas a temperaturas mayores hasta 600 C., este se usó primeramente como emplasto y después preformado para tuberías.

Con el avance de la energía térmica, el incremento de temperaturas usadas en procesos industriales fué mayor incrementándose en forma constante, por lo que los materiales aislantes requeridos para aislar equipos a esas temperaturas fueron a base de mezclas de fibras minerales de asbesto como base soporte del material preformado, mezclando con otros materiales minerales como perlita expandida o la tierra de diatomáceas.

Esto permite un crecimiento paralelo entre el desarrollo de los procesos a altas temperaturas y los materiales aislantes requeridos para dichos procesos, entre los materiales que resisten temperaturas elevadas se encuentran la lana mineral, fibra de vidrio, silicato de calcio hidratado, y para aplicaciones limitadas fibras a base de caolín fundido o sílice y alúmina apropiados para temperaturas de 2200 F.

El desarrollo tecnológico ha permitido la utilización de diversos materiales como aislantes térmicos, tanto a temperaturas abajo de cero grados como a temperaturas por encima de mil grados Fahrenheit, en su mayor parte se han sustituido a los materiales naturales por los materiales minerales y sintéticos, lo que ha hecho que el aislamiento industrial ocupe un lugar importante dentro de los procesos de fabricación fuera del rango de temperatura atmosférica.

Por otra parte los materiales refractarios desde el punto de vista de la definición de aislante térmico no se considera como tal, pues tienen menos espacios vacíos llenos de aire, son más densos, de alta conductividad térmica, pero se utilizan para ahorrar combustible buscando un mayor aprovechamiento de la energía térmica a elevadas temperaturas en hornos y ciertos equipos de proceso — por lo cual se consideran dentro del contexto.

Los refractarios se encuentran constituidos a base de una mezcla de arcillas y pueden ser sometidos a condiciones severas de operación, a las cuales no se puede usar un aislante común pues tiene menor resistencia, como las condiciones de operación son diferentes, los refractarios también, resistiendo a los diversos efectos a que se ven sujetos, como temperaturas elevadas, abrasión mecánica, ataque de escorias y vapores corrosivos etc.

Los primeros refractarios se utilizaron probablemente como crisoles para vidrio, recubrimiento para forjas y fundiciones, conforme se fueron descubriendo las propiedades de las diversas arcillas los refractarios ampliaron su campo de utilidad, teniendo hoy en día opciones a elegir según las condiciones de operación.

ESPECIFICACIONES DE LOS AISLANTES

CALOR

Los aislantes térmicos en forma general son materiales con baja densidad e inherente conductividad térmica, un aislante impide el paso del calor que se transfiere de una fuente a un receptor.

El calor se transfiere desde su origen en diversas formas hacia el medio ambiente que le rodea, la transferencia de calor se ocupa de la cantidad de calor transferido en un sistema.

La energía transferida por flujo de calor no se mide directamente, aunque tiene un significado físico relacionado con una cantidad medible llamada temperatura. Ahora bien el contenido de energía va asociado con las fases de una sustancia simple; --- sólido, líquido y gaseoso.

En la fase sólida la unión cercana de átomos o moléculas le proporciona rigidez, en la fase líquida hay una energía térmica para que la distancia entre las moléculas pierda rigidez, y en la fase gaseosa la presencia de una energía adicional permite una separación relativamente completa de las moléculas que pueden permanecer en cualquier lugar de un espacio cerrado. Cuando ocurre un cambio de fase fuera de la región crítica se involucra una cantidad de energía en la transición, si en un sistema hay una diferencia de temperatura el calor fluye de la región de mayor a menor temperatura, la cantidad de calor que se pierde por un cuerpo es absorbida por otro dentro de los confines del sistema.

Es esencial conocer la distribución de temperatura ya que siempre hay flujo de calor al existir un gradiente de temperatura, cuando se conoce la distribución de la temperatura, se determina mediante la ley que relaciona el flujo de calor con el gradiente de temperatura la cantidad de interés práctico, el flujo de calor, que es la cantidad de calor transferido por unidad

de área.

Entonces la transferencia de calor es el estudio del intercambio de calor entre la fuente generadora y sus receptores, establecida por una diferencia de temperatura entre ambas, involucrando las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de temperatura, la extensión y arreglo de las superficies que separan a la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor.

Es muy útil la transferencia de calor en la ciencia e ingeniería; en reactores nucleares, tecnología aeroespacial, equipos de proceso, calefacción y acondicionamiento de aire, para determinar la cantidad de aislamiento requerido y evitar pérdidas o ganancias excesivas de calor.

FORMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Se consideran tres formas de transferencia de calor; conducción, convección y radiación. En realidad la distribución de temperatura en un medio se controla por los efectos combinados de los tres, por lo que no es posible aislar a una forma de las interacciones de las otras dos, sin embargo para simplificar un análisis se puede considerar solamente a una de ellas, cuando es despreciable la transferencia de calor de las otras dos.

Conducción.— El calor pasa a través de un cuerpo de molécula a molécula, sin desplazamiento visible de sus partículas, la cantidad de calor que pasa de una cara a la otra del material o cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre las caras y a la superficie normal al flujo de calor, si varía la cantidad de calor, la cara ganará o perderá una cantidad variable

de calor pues la sustancia de que esta hecha tiene determinada -- capacidad para absorber y almacenar calor, que se observa en el -- cambio de temperatura.

Convección.- Un gas o un líquido tienen una determi-- nada densidad que se ve afectada por un cambio de temperatura, -- cuando dos partículas con diferente temperatura en movimiento se tocan, comparten su energía o calor de una a otra por medio de -- mezcla y de ellas a una superficie sólida cuando se ponen en con-- tacto con ella. Es convección natural cuando se produce por cale-- ntamiento y una subsecuente dilatación y disminución de la densi-- dad, si se fuerza mecánicamente se denomina convección forzada.

Radiación.- En esta forma de transmisión de calor no hay un medio material de transporte, un cuerpo caliente emite ca-- lor en todas direcciones en forma de energía radiante, con longi-- tudes de onda comprendidas en un amplio intervalo, desde las más pequeñas a las más grandes. Cuando esta energía incide sobre otro cuerpo una parte es reflejada otra pasa a través de él y el resto se absorbe, transformándose en calor, en el equilibrio térmico se igualan para cada superficie las energías absorbida y emitida.

La conducción y convección se transmiten por difere-- ncia de temperatura y muy poco por efecto del valor absoluto de la misma, esto quiere decir que se efectúan a bajas temperaturas, y la transmisión por radiación para una misma diferencia de tempe-- ratura entre los focos caliente y frío aumenta notablemente con el valor absoluto de la temperatura por lo que la transmisión se realiza a altas temperaturas.

CANTIDAD DE CALOR TRANSFERIDO

La cantidad de calor transferido desde la fuente de origen hacia su medio ambiente se obtiene utilizando las relaciones establecidas para cada una de las formas de transmisión. Para calcular la transmisión por conducción se hace uso de la ecuación que nos dice que la intensidad de paso de calor es proporcional a el área de sección normal al flujo y al gradiente de temperatura representativo a lo largo del recorrido:

$$\frac{dq}{d\theta} = - K A \frac{dt}{dx}$$

Donde K= factor de proporcionalidad y se define como conductividad térmica, es característica de la sustancia, variable con la temperatura y el estado de agregación.

Esta relación se aplica cuando se tiene un flujo variable, en el estado estacionario la temperatura en cualquier punto no depende del tiempo, y la intensidad de paso de calor es constante:

$$q = - K A \frac{dt}{dx}$$

La conductividad térmica de un sólido varía con la temperatura en forma aproximadamente lineal para intervalos de temperatura extensos, para un conductor es muy elevada comparada con la de un aislante que tiene valores inferiores a 0.050 Kcal/m .h.C.

El coeficiente de temperatura es positivo para aislantes caloríficos y negativo para los conductores, con excepción a la magnesita, latón y aluminio, la conductividad de un metal puede variar por la presencia de pequeñas cantidades de otros elementos, la conductividad de sólidos amorfos es función de la densidad aparente porque la conducción se ve afectada por el tamaño de poro y espacios vacíos entre las partículas, uniéndose a la conducción en las pequeñas cavidades la convección y radiación

por lo que el coeficiente de temperatura de la conductividad calorífica es igual a la de los sólidos homogéneos. Cuando se trata de sólidos voluminosos empleados como aislante la conductividad se aproxima a la del aire en reposo, en este caso pierde importancia la conductividad propia del material pues la mayor parte se transmite a través del aire ocluido en sus poros, el mismo efecto se consigue con un aislante de poco peso, constituido por varias hojas muy delgadas de aluminio, dispuestas paralelamente a la superficie que ha de aislarse, situandose a un centimetro unas de otras, la transmisión por radiación es nula debido al pequeño coeficiente de emisividad del aluminio. En un líquido la conductividad va unida a el efecto de convección pero se puede disminuir a valores inapreciables empleando capas muy finas y diferencias de temperatura inferiores a un grado, para líquidos no metálicos a excepción del agua varía de 0.075 a 0.225 Kcal/m.h.°C., y disminuye con la temperatura, con alguna excepción la influencia de la presión no es apreciable, la conductividad en líquidos cuando no hay otros datos se calcula con la ecuación de Smith para condiciones de 30 C., y "1" atmósfera de presión:

$$K = 0.00396 + 2.32(C - 0.45)^3 + 0.45 \bar{V}_m^{1/3} + 0.060 V^{1/9}$$

Donde: K = Kcal/m.h.°C.

C = calor específico Kcal/Kgr.°C.

\bar{V}_m = volumen molar cm³/mol-g.

V = viscosidad cinemática cm²/seg.

Para el petróleo y sus productos K = 0.117 Kcal/mh°C

En una mezcla la conductividad es función lineal de la composición en peso.

La conductividad de un gas es proporcional a su viscosidad y viene dada por la ecuación de Maxwell:

$$K = a \mu C_v$$

Donde: C_v = calor específico a volumen constante

$$a = 0.25 (9x - 5)$$

$$x = (C_p / C_v)$$

$$\frac{C_p u}{K} = \frac{4}{9 - \frac{5}{x}}$$

Donde K se incrementa englobada en el grupo adimensional $C_p u / K$, y aparece como una función del cociente de los calores específicos, el grupo es independiente de la presión y su variación con la temperatura es pequeña de manera que se puede despreciar cuando no se conoce el valor de K a la temperatura dada. Para aplicar la ecuación que gobierna a la conducción se debe tomar en cuenta que la conductividad y el área varían a lo largo del espesor de pared:

$$q = - K A \frac{dt}{dx}$$

Quando se transmite calor a través de un cuerpo geométrico de espesor " x ", limitado por dos superficies paralelas a diferentes temperaturas, t_1 y t_2 , ($t_1 < t_2$), el flujo de calor es normal a la superficie en cualquiera de sus puntos, si las áreas son A_1 y A_2 , y las conductividades a t_1 y t_2 , son K_1 y K_2 , se puede aplicar:

$$q = K_m A_m \frac{t_1 - t_2}{x}$$

Tomando valores medios de K y A , buscando su relación con los valores extremos que son datos conocidos tomando en cuenta que K sólo es función de la temperatura y A de la variable de posición " x ".

$$q \frac{dx}{A} = - K dt$$

integrando, y comparando con: $q = K_m A_m \frac{t_1 - t_2}{\Delta x}$

Para:
$$K_m = \frac{1}{t_1 - t_2} \int_{t_2}^{t_1} K dt \quad , \quad A_m = \frac{\Delta x}{\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{A}}$$

En la práctica se desprecia la variación de la conductividad con la temperatura con un error mínimo, si se considera una variación lineal:

$$K_m = \frac{K_1 - K_2}{2}$$

Teniendo una K_m en función de las conductividades extremas. Para el área media se tienen varios casos; cuando la sección normal es constante;

$$A_m = A \quad , \quad q = \frac{K_m A (t_1 - t_2)}{\Delta x}$$

Cuando la sección normal es proporcional al camino, presente en ductos, donde el ducto se encuentra limitado por superficies concéntricas, la longitud es indefinida y a diferente temperatura (ductos aislados), la longitud del cilindro es grande en relación a su diámetro y el flujo de calor es normal a las superficies extremas en todos sus puntos:

$$A_m = \frac{A_2 - A_1}{\ln \frac{A_2}{A_1}}$$

Cuando la sección normal es proporcional al cuadrado del camino:

$$A_m = \sqrt{A_1 A_2}$$

Conducción a través de paredes compuestas.- Aquí hay una relación semejante a la corriente eléctrica, la transferencia se origina por una diferencia de potencial o diferencia de temperatura a la que se opone una resistencia que es proporcional a la sección y a la conductividad:

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{\Delta x}{K_m A_m}} = \frac{\Delta t}{R}$$

Considerando el paso de calor a través de una pared compuesta en el estado estacionario:

$$q = \frac{t_0 - t_1}{R_a} = \frac{t_1 - t_2}{R_b} = \frac{t_2 - t_3}{R_c} = \frac{t_0 - t_3}{R_a + R_b + R_c} = \frac{\sum(\Delta t)}{\sum R}$$

Donde: R_a , R_b , R_c , son las resistencias de las tres paredes

Convección.- El calor se transfiere de esta forma -- cuando hay contacto entre un fluido y la superficie de un sólido:

$$dq = h \cdot dA (t_s - t)$$

La temperatura que se toma es la global y no la del fluido en una zona alejada de la superficie donde el gradiente es nulo, la temperatura global se obtiene en la mezcla adiabática de todas las capas del fluido, su diferencia con la temperatura en el seno del fluido no es apreciable y se puede utilizar, ya que "h" es función de la temperatura, si "h" no varía con las condiciones locales a lo largo de la transmisión:

$$q = h \cdot A (t_s - t) = h \cdot A \cdot t$$

El fluido en contacto con la superficie sólida forma una película estacionaria con un espesor dependiente de las condiciones de su movimiento, teóricamente no hay una película quieta

de determinado espesor porque hay un paso gradual del movimiento máximo hasta el punto de contacto fluido-sólido. En la práctica - se establece a una distancia determinada un cambio de velocidades con formación de remolinos si el flujo es turbulento, fijando en esta zona un plano que delimita la capa convencionalmente estacionaria.

Si hay transferencia de calor este atravesará la película estacionaria que ofrecerá una resistencia considerable, - pasando la película el calor pasa más fácilmente debido al movimiento de convección del fluido que mezcla sus partículas rápidamente igualando las temperaturas, si en el límite de la película la temperatura es igual a la del centro del fluido:

$$q = h A (t_g - t) = h A \Delta t$$

$$q = K_m A_m \frac{t_1 - t_2}{\Delta x}$$

$$h = \frac{q}{A \Delta t} = \frac{K_m A_m \frac{\Delta t}{\Delta x}}{A \Delta t}$$

$$\text{Si: } A_m = A, \quad h = \frac{K_m}{\Delta x}$$

El calor que se transmite es función de la temperatura del fluido, de la velocidad de este y de la forma y tamaño de la superficie, para una velocidad dada la temperatura variará con la diferencia absoluta de temperatura y las propiedades térmicas del fluido, por lo tanto si la transmisión de calor y la temperatura se encuentran influenciadas por dichos factores y como el coeficiente es función de la temperatura entonces los factores -- influirán sobre él y son:

En convección natural.- La diferencia total de temperatura, aceleración de la gravedad y el coeficiente de dilata---

ción, dimensión lineal, viscosidad, densidad.

En convección forzada.- Los factores agrupados en el módulo de Reynolds.

En las propiedades térmicas.- Conductividad, capacidad calorífica, si se presenta ebullición de líquido o condensación de vapores el calor latente de vaporización.

Radiación.- Una superficie emite radiación térmica en forma continua dependiendo solo de la temperatura, en la radiación intervienen las leyes de Kirchhoff, Stefan-Boltzman, Wien, Lambert y Planck.

La primera nos dice que en el equilibrio térmico el coeficiente de absorción de una superficie es igual a la emisividad para la radiación a la misma temperatura:

$$I A_1 \alpha_1 = A_1 W_1 \quad , \quad I A_2 \alpha_2 = A_2 W_2$$

$$\frac{W_1}{\alpha_1} = \frac{W_2}{\alpha_2}$$

Donde:

A_1, A_2 = son áreas de superficie muy pequeñas

$A_1 W_1, A_2 W_2$ = radiación en el equilibrio

W = energía total por unidad de tiempo y superficie.

I = intensidad

α_1, α_2 = coeficientes de absorción

Esta ley fija un límite superior para el poder emisivo " W " de un cuerpo con coeficiente de absorción igual a la unidad, el cuerpo es llamado radiador perfecto porque absorbe toda la energía que incide sobre su superficie con reflexión nula.

El poder emisor de una superficie respecto al cuerno negro a la misma temperatura es:

$$W = W_n \cdot E$$

Si una superficie es el cuerpo negro y otra tiene una emisividad "E".

$$\frac{W}{I} = \frac{W_n E}{\alpha}, \quad , \quad E = \alpha$$

La segunda ley toma al cuerpo negro como un concepto ideal y nos dice que el poder emisor es función de la temperatura estableciendo la relación del poder emisor con la cuarta potencia de la temperatura absoluta:

$$W_n = \sigma T^4$$

$$\sigma = 4.92 \times 10^{-8} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h. } (^{\circ}\text{K})^4$$

La ley de Planck permite conocer la distribución de la energía radiante a lo largo del espectro continuo que varía con la temperatura:

$$W_{ns} \lambda = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\frac{C_2}{e^{\lambda T} - 1}}$$

Donde: $C_1 = 0.885 \times 10^{-12} \text{ cal.cm}^2/\text{seg}$

$$C_2 = 1.433 \text{ cm} \cdot \text{K}$$

$W_{ns} \lambda$ = poder emisor monocromático, este es nulo para $\lambda = 0$, $\lambda = \infty$, y tiene un máximo para una longitud de onda que varía con la temperatura.

La ley de Lambert relaciona la radiación que emite una superficie con el ángulo que forman la normal a la superficie con la dirección del rayo incidente:

$$q = q_n \cdot \cos \theta$$

Mientras más rugosa es una superficie tiene mayor poder de emisión y esta variará con la temperatura, el estado físico y la constitución química de la superficie.

La ley de Wien nos dice que al aumentar la temperatura, la energía radiante emitida se desplaza hacia las longitudes de onda más pequeñas:

$$T_{\text{máx}} = 0.2885 \text{ cm K}$$

Cantidad de intercambio de energía entre dos planos paralelos.

La radiación desde una pequeña placa se realiza en forma hemisférica hacia el medio ambiente, y la radiación que incide sobre el área de un cuerpo a gran distancia es muy pequeña, si se tienen dos placas o planos paralelos negros muy grandes de manera que la cantidad que se pierde es demasiado pequeña se tiene:

$$Eb_1 = \sigma T_1^4, \quad Eb_2 = \sigma T_2^4$$

Un cuerpo negro absorbe toda la energía que recibe, entonces la cantidad de energía por unidad de longitud entre dos planos a temperatura constante es:

$$\frac{Q}{A} = Eb_1 - Eb_2 = \sigma (T_1^4 - T_2^4) = 0.173 \left[\frac{T_1}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_2}{100} \right]^4$$

Cantidad de energía por combinación de convección y radiación.

Cuando se tiene una superficie rodeada por un medio gaseoso y se encuentran a diferente temperatura, la transmisión de calor por convección y radiación es:

$$q_c = h_c A (t_s - t_g); \quad t = ^\circ\text{C}$$

$$q_r = E_s w_n A (T_s^4 - T_p^4); \quad T = ^\circ\text{K}$$

Expresando a q_r como q_c : $q_r = h_r A (t_s - t_p)$

Si: $t_s - t_p = T_s - T_p$, $W_n = \sigma T^4$, $\sigma = 4.92 \cdot 10^{-8} \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h.C}$

$$h_r = \frac{4.92 \cdot 10^{-8} \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_p}{100} \right)^4 \right]}{T_s - T_p}$$

Cuando la temperatura del gas es igual a las temperaturas del recinto: $q = q_c + q_r = (h_c + h_r) A (t_s - t_g)$

"h" es muy útil al aplicar el concepto de resistencia calorífica, porque las resistencias de convección y de radiación no tienen sentido físico, y hay que considerar una resistencia total:

$$R = \frac{t_s - t_g}{q} = \frac{1}{A (h_c + h_r)}$$

Cantidad de energía al combinarse los tres efectos: conducción, convección y radiación.

Un equipo de proceso donde se tienen los tres efectos combinados de transmisión de calor es un horno, en sus caras interna y externa, en la pérdida de calor intervienen en la misma proporción la convección y la radiación, y estos efectos no se pueden despreciar.

Si se tienen paredes compuestas la resistencia calorífica en la transmisión de calor es:

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{\Delta x}{K_m A_m}} = \frac{\Delta t}{R}$$

y la resistencia de transmisión superficial:

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{l}{h A}} = \frac{\Delta t}{R} \quad , \quad R = \frac{l}{h A}$$

Donde: "h" es el coeficiente de convección cuando - el efecto de radiación es despreciable, en otro caso se considera la suma del coeficiente de convección "h_c", y el de radiación --- definido por:

$$h = \frac{4.92 E_s \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_p}{100} \right)^4 \right]}{T_s - T_p}$$

La resistencia total será la suma de la resistencia superficial interna más la resistencia total de conducción, más - la resistencia superficial externa del equipo:

$$\sum R = \frac{l}{h_i A_i} + \frac{x}{K A} + \frac{l}{h_e A_e}$$

En forma general la resistencia superficial interna se considera como dato a la temperatura de superficie interna, -- una vez calculada la suma de resistencias, el calor que se ha --- transferido es:

$$q = \frac{t' - t_a}{\sum R}$$

Donde: t' = temperatura de la superficie interna

t_a = temperatura ambiente

Quando se encuentra un equipo que posee una superficie con mayor temperatura que el medio ambiente que le rodea sufrirá una pérdida de calor a través de sus paredes, y esas pérdidas dependen de la temperatura de superficie y de la del medio ambiente que le rodea así como de la conductividad térmica del material.

El calor pasará a través de la pared por conducción y de ahí al medio ambiente lo perderá por convección y radiación hasta conseguir el estado estacionario.

En una tubería aislada que conduce un fluido caliente, el calor del sistema fluye a través de resistencias en serie por conducción y convección desde el fluido caliente a la superficie interior del ducto, por conducción a través de la pared del tubo y del aislamiento hacia la superficie exterior, y de ahí por conducción, convección y radiación hacia el medio ambiente que le rodea, el calor que se transfiere es:

$$\frac{dq}{dl} = \frac{t' - t_a}{\frac{l}{h_i (\pi D_i)} + \frac{x_w}{K_w (\pi D_w)} + \frac{x}{K_m (\pi D_m)} + \frac{l}{(h_c + h_r) (\pi D_e)}} =$$

$$\frac{dq}{dl} = \frac{t' - t_a}{\sum R}$$

CLASIFICACION DE LOS AISLAMIENTOS TERMICOS

Los aislantes térmicos son materiales que tienen la propiedad de impedir el paso del calor, la pérdida de calor de una estructura depende de la temperatura de su superficie externa en relación con la temperatura ambiental.

Un aislante impide el paso de calor en uno u otro sentido, es decir, se aplica a superficies calientes impidiendo el flujo de calor al exterior y en superficies frías impidiendolo hacia el interior, manteniendo su superficie exterior a la temperatura conveniente.

Los aislantes tienen una estructura a base de múltiples poros pequeñísimos conteniendo aire o gas con una conductividad térmica muy pequeña, cuando la estructura se ve afectada la conductividad térmica aumenta. El aislante se elige para una operación según su efectividad y la temperatura que puede soportar, ya que el rango de temperatura de uso varía ampliamente para cada aislante.

Un aislante se usa para conservar el calor o alguna forma de energía, facilitar el control de un proceso químico, reducir la temperatura del casco de un recipiente sometido a presión y controlar la temperatura exterior del espacio aislado para evitar peligros al personal, reducir la temperatura en los lugares de trabajo, aumentar las comodidades de las viviendas, todo esto se realiza eligiendo el material según se le vaya a dar uso.

Los aislantes son materiales con baja densidad y con conductividad térmica, dichas propiedades se las dan la gran cantidad de espacios llenos de aire, por el contrario un refractario es un material más compacto, denso, con cierta porosidad y alta conductividad, lo que le permite ser utilizado a altas temperatu-

ras, condiciones más drásticas de operación y expuestos directamente a esas condiciones.

CLASIFICACION DE ACUERDO A SU CONSTITUCION Y RANGO DE OPERACION

Los aislantes térmicos a partir de sus materiales se pueden clasificar en cuatro tipos, aunque en la práctica sean una combinación de dos o más materiales; fibrosos, granulares, celulares y reflectores.

El aislamiento de equipos o cuerpos calientes impide el paso de calor a ambientes fríos logrando que disminuya la temperatura de la superficie externa reduciendo el escape de calor conservando fría la superficie o inversamente cuando se tiene un sistema de refrigeración, acondicionamiento de aire, almacenamiento en frío, con el aislamiento se impide la absorción del calor de la atmósfera.

Para aislar el material más eficaz es el aire, principalmente encerrado como pequeñas capas o espacios en una masa porosa, celular, fibrosa o reflectora, la estructura de espacios llenos de aire o gas poseen una conductividad térmica muy pequeña, la conductividad de la estructura cambiará aumentando de valor si los poros o espacios que contienen aire se rellenan parcialmente al comprimir o humedecer el material o si se perturba la estructura cuando el material se comprime en un bloque sólido o se funde parcialmente.

La exposición al calor excesivo afecta al material aislante, pero este tiene un rango de operación amplio sin experimentar efectos adversos, por ello la selección de un material como aislante depende de su efectividad operativa y de la temperatura que puede soportar, por lo que la clasificación más útil de aislantes térmicos es su rango de operación respecto a la ----

temperatura:

BAJA TEMPERATURA: Menor a 100°C. (212°F).

Materiales empleados: Corcho granulado
 Planchas de corcho
 Planchas de fibra de vidrio
 Esponja de caucho
 Espuma de plástico
 Fieltro
 Hoja de aluminio

Se aplican en: Edificios
 Tuberías
 Envases para hielo, CO₂ sólido etc.
 Depósitos para agua caliente o fría
 Almacenamiento en frío
 Acondicionamiento de aire
 Tanques cisterna

TEMPERATURA MEDIA: 100° a 360°C (212° a 680°F).

Materiales empleados: Magnesia 85%
 Fibra de vidrio
 Lana de escorias
 Cartones de amianto
 Fieltro de asbesto trabado
 Cartón de asbesto en varias formas
 Mezclas de textiles y plásticos
 Hojas de aluminio

Se aplica en: Centrales térmicas
 Producción de vapor y calentamiento
 a bajas temperaturas

Calderas
 Tuberías de vapor y agua caliente
 Acumuladores de vapor
 Recipientes de almacenamiento
 Turbinas
 Hornos de baja temperatura
 Instalaciones de secado
 Conductos de chimenea

TEMPERATURA MEDIA ALTA: 300° a 650°C (572° a 1200°F).

Materiales empleados: Asbesto

Tierra de diatomáceas
 Lana de escoria y de roca
 Lana de vidrio (hasta 480°C)
 Vermiculita en combinación con amian
 _to

Se aplica en:

Instalaciones de vapor recalentado
 Retortas
 Estufas
 Exhaustador de motores diesel
 Calderas de vapor
 Tuberías de vapor
 Hornos

TEMPERATURA ALTA: Mayores de 650°C (1200°F)

Materiales empleados: Los ladrillos aislantes son princi--
 _palmente los que se usan en este --
 rango y se encuentran constituidos --

por diatomita, vermiculita, con --
celdillas de aire.

Lana de caolín

Cemento refractario aislante (mez-
_clas de fibras minerales).

Ladrillos aislantes para superficie
caliente.

Refractarios

Se aplica en:

Retortas de gas

Regeneradores

Hornos

Conductos de gases calientes

Hornos de soplante

Gasógenos

Coquerías

REFRACTARIOS

Los aislantes térmicos son ligeros de baja densidad y conductivi-
_dad térmica, esto es debido a la gran cantidad de espacios lle--
_nos de aire en su estructura, soportan una temperatura máxima de
trabajo alrededor de 1900 °F (1040 °C), para condiciones más drás
_ticas se utilizan refractarios, materiales más compactos, densos
con cierta porosidad y alta conductividad térmica, se usan en hor
_nos, reactores y otros equipos similares, actúan conservando el
calor e influyen en la conservación del combustible y economía --
del proceso, se pueden exponer directamente a las condiciones de
operación, por decir, en un horno su estructura debe ser estable
y resistir las condiciones de operación, un hueco o grieta puede
provocar un corto circuito de las corrientes de gases o por infil

tracción de gas en el aire o viceversa, afectando a la uniformidad de temperatura en el horno, a la cantidad de combustible empleada y a la estructura del ladrillo. A las condiciones de proceso en el horno se produce escoria cuya acción desgasta las paredes, y si estas no están recubiertas interiormente el efecto será la formación de orificios o huecos, el utilizar refractarios disminuye estos efectos y mantiene el gradiente de temperatura necesario en un horno para su funcionamiento adecuado, reduciendo el consumo de combustible empleado.

EFECTO DE LA CONDUCTIVIDAD

La conductividad térmica es el número de calorías que en la unidad de tiempo atravieza la unidad de área de una sustancia homogénea bajo influencia de una diferencia de temperatura igual a la unidad en dirección perpendicular a la superficie.

La conducción es una de las formas de transmisión del calor, esta se realiza por interacción entre átomos individuales, iones y moléculas, en un fluido una molécula con un contenido de alta energía al chocar con una de bajo contenido de energía le imparte algo de su energía, en un sólido se transfiere por interacción de átomos vecinos ya sea por acoplamiento entre las vibraciones estructurales o por movimiento electrónico y colisiones con los átomos.

En un material cerámico (dieléctrico), los electrones no están libres para moverse en la estructura en concentraciones apreciables y el calor se transfiere por vibraciones estructurales en forma no-armónica lo que impide el flujo de calor y una conductividad térmica disminuida.

Las formas de transmisión de energía por vibración -

llamados fonones fluyen a lo largo del gradiente térmico, la conductividad térmica del cuerpo se determina por las colisiones inelásticas y dispersión de fonones, Debye expresó la conductividad térmica de un sólido como:

$$K = \frac{1}{3} s.v.l$$

Donde: s = calor específico por unidad de volúmen
 v = velocidad de onda elástica o media de par
tícula
 l = trayectoria libre media del fonón

Si las vibraciones fueran completamente armónicas a través de la estructura no ofrecerían resistencia al flujo de fonones y la trayectoria libre media así como la conductividad térmica de dichos cuerpos sería infinita.

Conforme una estructura es más compleja hay mayor dispersión de las ondas estructurales disminuyendo la conductividad térmica, pero a temperatura elevada la conductividad es independiente, cuando se adiciona un componente la conductividad disminuye en la misma proporción en que se adiciona el componente. Cuando existe un sistema de energía radiante donde se tiene una fuente que alimenta calor, hay un elemento que absorbe energía y cada uno de los elementos adyacentes a el absorbe energía de la parte que se encuentra a la temperatura más elevada, y la emite de manera que hay una absorción y reradiación de energía en la dirección del gradiente de temperature, para materiales transparentes no hay absorción, para un sólido opaco la absorción es infinita y la transferencia de calor es por conducción, cuando se trata de un material intermedio cada elemento absorbe una parte de la energía radiante y la vuelve a emitir de la misma forma, a temperaturas elevadas esto representa una cantidad considerable -

del calor total transferido.

Es importante el proceso de absorción y reradiación en sólidos no opacos, cuando se aumenta el nivel de temperatura - para vidrios y cristales simples a temperaturas moderadas, y para óxidos translúcidos refractarios a altas temperaturas.

La conductividad aparente de cristales simples decre
ce a un mínimo y después se incrementa como resultado del efecto de transferencia de calor por radiación.

Los vidrios tienen una estructura no cristalina y -- por lo tanto desordenada, esto limita la trayectoria libre media de los fonones a un valor del orden de la separación interatómica siendo independiente de la temperatura, y la conductividad es --- baja incrementando ligeramente con la temperatura. A elevadas tem
peraturas la energía se transmite por conducción y la conductivi
dad se incrementa con la temperatura debido a que tiene un coefi
ciente de transmisión alto.

Los materiales porosos se encuentran formados por -- una mezcla de una o más fases sólidas con una fase porosa, y su - conductividad dependerá del arreglo de las fases presentes, el -- arreglo más sencillo esta formado por dos fases donde hay una --- orientación regular de materiales y una estructura de losas para
lelas, la conductividad de la masa dependerá de la conductividad de cada uno de los materiales y de la dirección del flujo de ca--
lor, si este es paralelo al plano de las losas se tiene un arre
glo similar a un circuito eléctrico en paralelo, todas las pla--
cas tienen el mismo gradiente y la mayor parte del flujo de ca--
lor es a través del mejor conductor:

$$K_m = V_1 K_1 + V_2 K_2$$

Donde: V_1 , V_2 = fracción en volumen de cada compo--
nente.

$$\text{Si: } K_1 \quad K_2 \quad K_m = V_1 K_1$$

Si el arreglo es normal al flujo de calor sería similar a un circuito en serie, y el flujo de calor a través de cada losa igual pero con gradientes de temperatura diferentes, la conducción viene dada por el conductor más pobre:

$$\text{Si: } K_1 \quad K_2 \quad K_m = K_2/V_2 \quad , \quad \frac{1}{K_m} = \frac{V_1}{K_1} + \frac{V_2}{K_2}$$

$$K_m = \frac{K_1 K_2}{V_1 K_2 + V_2 K_1}$$

Un material cerámico se ve afectado en su conductividad por los poros, composición química, temperatura de uso y el tiempo de exposición al calor, a bajas temperaturas los poros tienen una conductividad más baja que cualquiera de las fases sólidas y la orientación del poro no afecta a la conductividad, si es un poro largo como fibra entra en juego la energía de radiación a altas temperaturas, y la conductividad del material poroso es debida a los procesos de conducción y radiación, ya que la convección sólo es importante en poros de varios milímetros, de tal manera que los poros afectan por su emisividad de superficie, tamaño, forma y distribución.

Los poros de gran tamaño contribuyen a aumentar la conductividad a temperaturas elevadas y poros de pequeña medida juegan el papel de barreras al flujo de calor, en un material aislante los poros pequeños disminuyen la transferencia de calor y los grandes incrementan la conductividad a temperaturas elevadas,

por lo que a temperaturas elevadas el tamaño de poro es importante como rasgo de microestructura para determinar las propiedades de transferencia de calor.

Para tener mayor resistencia térmica es deseable que el material tenga poros pequeños y la fase porosa continua, en los materiales refractarios los poros pequeños se ocluyen a altas temperaturas por lo que para un producto estable el tamaño de poro es moderadamente grande y las propiedades aislantes menos satisfactorias a altas temperaturas, el poder de aislamiento o conductividad térmica es importante de acuerdo a la proporción de poros, forma de ellos, orientación y continuidad de los espacios vacíos.

Cuando se encuentra en la atmósfera gasea con un mayor poder de conductividad que el oxígeno, la conductividad térmica de los materiales porosos será mayor, incrementándose a temperaturas elevadas, a temperatura y presión moderada el efecto depende de la composición del gas y de la estructura porosa.

MÉTODOS DE CÁLCULO

Cantidad de calor perdido. - En un sistema el calor se pierde hacia el medio ambiente que le rodea, para calcular la energía perdida como calor se expresan los efectos de conducción, convección y radiación como suma de resistencias al flujo de calor.

Si se transporta un fluido caliente a través de un ducto aislado en condiciones de flujo constante, el calor fluye por conducción y convección desde el fluido caliente a la superficie interior, por conducción a través de la pared del tubo y del

aislamiento hacia la superficie exterior por conducción, convección y radiación hacia el medio ambiente.

$$\frac{dq}{dl} = \frac{t' - t_a}{\sum R}$$

$$R_i = \frac{1}{h_i (\pi D_i)} = \text{resistencia del lado del fluido}$$

$$R_w = \frac{X_w}{K_w (\pi D_w)} = \text{resistencia del ducto}$$

$$R_x = \frac{X}{K_m (\pi D_m)} = \text{resistencia del aislante}$$

$$R_s = \frac{1}{(h_c + h_r) (\pi D_s)} = \text{resistencia superficial}$$

$$R = R_i + R_w + R_x + R_s$$

Donde:

t' = temperatura del fluido caliente

t_a = temperatura del medio ambiente

h_i = coeficiente interno

$h_c + h_r$ = coeficiente combinado de convección y radiación

D_i = diámetro interno del ducto

D_w = diámetro externo

D_m = diámetro medio logaritmico de la superficie aislada

D_s = diámetro externo de la superficie aislada

X_w = espesor del ducto

X = espesor del aislante

Un método de cálculo de la energía perdida como calor en un ducto aislado se basa en suponer un porcentaje de gradiente de temperatura total, aproximadamente el 90%, y el 10% restante para comprobar con un $R_s\%$ calculado, si este valor se aproxima al 10%, los cálculos son correctos y se obtiene el calor perdido "q", de lo contrario se ajustan valores usando como aproximación el $R_s\%$.

Como datos se tiene: Longitud del ducto, diámetro, presión, si lleva vapor saturado o sobrecalentado, tipo de aislante y espesor del mismo, temperatura del aire, si no es vapor la temperatura del fluido.

Se obtiene: Si conduce vapor, en tablas de vapor de agua con la presión absoluta la temperatura de saturación y el gradiente de temperatura: $\Delta T_t = t_s - t_a$

Si no es vapor: $\Delta T_t = t' - t_a$

Diámetros interno y externo del ducto, su espesor, el diámetro medio del aislamiento:

$$D_m = \frac{D_s - D_o}{\ln \frac{D_s}{D_o}}$$

Donde: D_s = diámetro externo total

D_o = diámetro externo del ducto

Se calcula: Como la resistencia del lado del fluido es pequeña respecto a otras resistencias se toma un valor aproximado para el coeficiente de película de condensado e incrustaciones, y se calcula " R_i ".

Con T_t , en tablas se obtiene la conductividad del ducto " K_w ", y se calcula " R_w ".

Se toma 90% del valor de $\Delta T_t = Y - t_e = t_{ma}$

y en tablas se obtiene la conductividad de aislante " K_m ", y se calcula " R_x ".

Se toma el valor del 10% del gradiente de temperatura = "Z", con este valor y "Ds", en la tabla de coeficientes combinados se obtiene " $(h_c + h_r)$ ", calculandose el valor de "Rs".

El siguiente paso es calcular la suma de resistencia

$$R = R_i + R_w + R_x + R_s$$

$$Rs\% = \frac{R_s}{\sum R} \cdot 100$$

Si "Rs%" se aproxima al 10% supuesto, se calcula el valor de:

$$q = \frac{t' - t_a}{\sum R}$$

El valor que se obtiene se multiplica por el total de la longitud, ya que se toma como base de cálculo a la unidad, de esta manera se tiene el total del calor perdido.

Si "Rs%" se encuentra alejado del 10% se hace una aproximación con:

$$Z' = Rs\% (\Delta T_t)$$

Con este valor se obtiene un nuevo " $(h_c + h_r)$ ", y se recalcula "Rs".

Donde: ΔT_t = gradiente de temperatura total

t_s = temperatura de saturación

t_a = temperatura del aire ambiental

Y = 90% del gradiente de temperatura

t_{ma} = temperatura media del aislamiento

Z = 10% del gradiente de temperatura

Rs% = porcentaje de resistencia superficial

Valores de $(h_c + h_r)$, temperatura ambiental de 26°C

Diámetro nominal de la tuberia, en pulgadas	Δ diferencia de temperatura entre superficie y habitación, °C														
	7.8	8.5	8.3	111	139	167	222	276	333	399	441	500	555	612	667
1/2	10.37	12.12	13.49	15.15	16.66	18.70	21.83	25.90	30.36	35.19	41.01	47.55	54.75	62.50	71.60
1	9.91	11.62	12.91	14.56	16.06	17.68	21.18	25.20	29.66	34.70	40.38	46.75	53.66	61.80	70.90
2	9.44	11.10	12.31	13.92	15.31	16.95	20.15	24.10	28.60	33.80	39.49	45.80	52.66	60.90	69.80
4	9.00	10.59	11.77	13.28	14.70	16.27	19.65	23.60	27.90	33.00	38.60	45.00	52.15	60.00	68.80
8	8.61	10.08	11.20	12.70	14.11	15.62	18.95	22.90	27.20	32.23	37.80	44.22	51.40	59.20	68.10
12	8.36	9.83	10.75	12.40	13.78	15.30	18.70	22.50	26.80	31.83	37.40	43.80	51.00	58.90	67.65
24	8.02	9.44	10.52	11.90	13.25	14.70	18.00	21.92	26.21	31.20	36.72	43.30	50.20	58.20	66.95

(Referencia Mc Adams)

Un segundo método supone a las resistencias producidas por el fluido y la pared del ducto despreciables comparadas a la del aislamiento:

$$q = \frac{\Delta T}{R_x + R_s}$$

La resistencia superficial es mucho menor que la del aislamiento y únicamente se estima por medio de ecuaciones empíricas:

$$R_s = \frac{1}{(h_c + h_r) A} \quad , \quad h_c + h_r = \frac{564}{(d_2)^{0.19} (273 - \Delta t_i)}$$

Donde: d_2 = diámetro externo del aislante (pulgadas)

Δt_i = temperatura de superficie del aislante -
- temperatura del aire (°F).

$(h_c + h_r)$ = coeficientes de transferencia (BTU/h.ft.²
°F).

En este método se suponen las temperaturas superficiales de las capas de aislamiento, debido a que los valores de "K", y $(h_c + h_r)$, dependen de la temperatura, después de calcular

las pérdidas de calor se verifican las suposiciones.

Como datos se tiene: Diámetro del ducto y longitud, temperatura del fluido, tipo de aislante y espesor, temperatura ambiente.

Se obtiene: Diámetro interno y externo del ducto, -- diámetro externo total, diámetro medio del aislamiento.

Se supone: Temperatura externa del ducto igual a la temperatura del fluido, la temperatura promedio en la pared del ducto y del aislante en un rango aproximado de 100° - 150°F, menor a la del fluido, si hay dos capas de aislante la temperatura promedio de la segunda capa aproximadamente igual a la mitad de la temperatura promedio de la primera capa, temperatura superficial entre un rango de 120° - 160°F.

Se calcula: Con la temperatura promedio de tablas se obtiene la conductividad media del aislante "Km", y se calcula la resistencia del aislante "Rx", si hay más de una capa se calcula para cada una y se obtiene "Rx" total sumando los valores parciales.

Con Δt_i , y d_2 , se calcula $(h_c + h_r)$, y con este el valor de la resistencia superficial "Rs", posteriormente el valor del calor que se pierde:

$$q = \frac{\Delta T}{Rx + Rs}$$

Se comprueban las suposiciones

Capa interior: $\Delta T = q(Rx)$

$$t_p = \frac{t_f + (t_f - \Delta T)}{2}$$

Si hay más de una capa.

Capa exterior:

$$\Delta T' = q (R_x)$$

$$t_s = t_f - \Delta T - \Delta T'$$

$$t'_p = \frac{(t_p - \Delta T') + t_s}{2}$$

Donde: ΔT = gradiente de temperatura en la primera -
capa aislante.

$\Delta T'$ = gradiente de temperatura en la segunda -
capa aislante.

t_p = temperatura promedio de la primera capa

t'_p = temperatura promedio de la segunda capa

t_f = temperatura del fluido

t_s = temperatura superficial

A esta temperatura promedio se observa en tablas si el valor de la conductividad térmica cambia con su valor anterior si es así se vuelve a calcular, tomando como aproximación la temperatura promedio calculada, de lo contrario el valor de las pérdidas de calor "q", son satisfactorias.

Para superficies planas el método de cálculo es similar al anterior, sólo que cada uno de los coeficientes se calcula por separado.

$$h_c = 0.27 \Delta T^{0.25}$$

Donde: ΔT = diferencia de temperaturas entre el aire y el exterior de la placa.

$$h_r = \frac{0.173 e_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_a}$$

Donde: e_1 = emisividad de la placa a T_1

T_1 = temperatura de la placa ($^{\circ}R$)

T_a = temperatura del aire ($^{\circ}R$)

Calor que se pierde por cada 100 pies de tubería. - Este es un método rápido de buena aproximación para cálculos de 100 pies de tubería y una temperatura de medio ambiente de $70^{\circ}F$, para los cálculos se utilizan tablas, y los datos que se deben conocer son:

Si la tubería conduce vapor saturado o sobrecalentado, grados de sobrecalentamiento, temperatura ambiental, presión del fluido, diámetro, eficiencia del aislamiento si esta aislado, las secuencias de cálculo son como sigue:

Caso 1. - Para 100 pies de tubería que conduce vapor saturado se conoce la caída de presión, temperatura ambiental y diámetro, se pide encontrar las pérdidas de calor en libras de vapor.

Secuencia: Se localiza en la columna "C" la ΔP , correspondiente y moviéndose hacia la derecha en la columna del diámetro se localizan las libras de vapor por hora, por cien pies de tubería.

Caso 11. - Para 100 pies de tubería que conduce vapor saturado se conoce el diámetro, la caída de presión, grado de sobrecalentamiento, temperatura ambiental y eficiencia cuando se ha aislado, se pide encontrar las pérdidas de calor antes y después de aislar el ducto.

Secuencia: En la columna "C" de las tablas se localiza " ΔP ", moviéndose hacia "B", se localiza la temperatura del vapor saturado, a este valor se le suman los grados de sobrecalentamiento y se obtiene la temperatura del vapor sobrecalentado, este valor se localiza en "B", y en "C", se localiza la " ΔP ", correspondiente, moviéndose hacia la columna del diámetro se obtienen las pérdidas de calor, en la columna "D", con los valores de " ΔP ", se obtienen valores de calor latente de vaporización para establecer una relación:

$$\frac{\text{Calor latente(saturado)}}{\text{Calor latente(sobrecalentado)}} = x$$

Pérdidas de calor corregidas:

$$q (x) = y$$

Cuando se ha aislado y se conoce la eficiencia del aislamiento:

$$y (1 - \text{eficiencia}) = z$$

Donde: x = relación para corregir las pérdidas de calor.

y = calor perdido en la tubería sin aislar por cada 100 pies de longitud.

z = pérdidas de calor después de aislar

Caso 111. - Para superficies planas, conociendo el área "A", la caída de presión, temperatura ambiente, se pide la cantidad de calor que se pierde.

Secuencia: Se localiza el valor de " ΔP ", en la columna "C", y el valor del calor perdido en "E", para el área dada:

$$q (A) = q' (\text{BTU/hr.})$$

Las pérdidas de vapor se encuentran en "F".

$$q (A) = q'' (\text{Lb de vapor})$$

Caso IV..- Cuando la temperatura del medio ambiente es diferente a 70°F , se conoce el diámetro, la caída de presión, y la temperatura del medio ambiente, se pide localizar las pérdidas de calor.

Secuencia: En la columna "C", se localiza el valor de "AP", en la columna "A", se obtiene la temperatura de referencia $T(70^{\circ}\text{F})$, a este valor se le resta el de la temperatura ambiente obteniendo el gradiente de temperatura correcto, este se localiza en la columna "A", y a la derecha en la columna del diámetro respectivo se localiza el valor de la cantidad de calor perdido.

Caso V..- En las últimas tres tablas se puede obtener rápidamente el calor que se pierde en un ducto aislado, en forma general se conoce el diámetro de la tubería, el espesor de aislamiento, la conductividad térmica del aislante, la diferencia de temperatura del fluido y del medio ambiente, con estos datos se obtiene en tablas las pérdidas de calor por pie lineal, y observar la diferencia en pérdidas de calor en tubería sin aislar y en tubería aislada.

Pérdida de vapor (como calor) para tubería desnuda.

ΔT F.	T de Vap. ref. Sat. a B	P Vap. ref. a B	Calor Lat. BTU Lb	Pérd. Calor BTU h.ft ²	Pérd. Calor Lb h.ft ²	Diámetro nominal (pul.)					
						1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
						Area ext. pies ² /100 pies					
						21.04	27.46	34.43	43.46	46.74	62.12
Pérdidas Vap. Lb/hr.											
10	120	1.002	1022.1	17.30	0.0921	1.00	1.61	3.27	4.13	4.73	5.91
15	123	1.022	1022.3	169.27	0.1006	2.35	2.04	3.08	4.06	5.37	6.01
20	126	1.121	1016.4	121.24	0.1187	2.61	3.10	4.04	5.10	5.06	7.35
30	133	1.216	1016.3	121.81	0.1491	2.87	3.50	4.50	5.68	6.56	8.13
40	140	1.287	1012.6	144.38	0.1470	3.14	3.02	4.01	6.20	7.00	8.87
50	145	1.290	1010.0	170.23	0.1547	3.40	4.13	5.37	6.72	7.06	9.01
60	150	1.310	1007.7	178.12	0.1608	3.67	4.34	5.74	7.23	8.10	10.37
70	153	1.251	1002.7	174.50	0.1608	3.64	4.67	6.11	7.78	8.06	11.13
80	160	1.250	1002.8	191.00	0.1615	4.21	5.20	6.50	8.31	8.52	11.00
90	163	1.234	997.8	207.43	0.1587	4.45	5.02	7.01	8.51	10.13	12.00
100	170	1.200	992.8	213.10	0.1511	4.73	5.04	7.44	9.11	10.73	13.44
105	173	1.217	992.3	220.55	0.1513	5.60	6.10	7.05	10.63	11.54	14.53
110	180	1.210	990.3	244.15	0.1401	5.47	6.78	8.40	10.72	11.27	15.24
120	183	1.250	986.3	238.04	0.1521	5.70	7.21	9.07	11.30	12.04	16.20
130	190	1.210	982.8	213.12	0.1770	5.10	7.63	9.36	12.00	13.51	17.26
140	193	10.353	980.3	257.00	0.2131	6.43	8.06	10.04	12.74	14.35	18.73
150	200	11.353	977.7	300.05	0.2500	6.70	8.46	10.04	13.43	15.37	20.21
155	203	12.772	974.6	316.10	0.2343	7.14	8.63	11.18	14.17	16.16	21.20
160	210	14.123	971.3	331.04	0.3403	7.49	9.37	11.72	14.81	16.93	21.90
165	213	16	968.3	345.32	0.3263	7.83	9.51	12.26	15.51	17.73	23.10
170	220	17	965.3	360.00	0.3730	8.10	10.25	12.84	16.21	18.53	23.70
175	223	19	961.7	377.20	0.3493	8.63	10.78	13.31	17.03	19.34	24.30
180	230	21	958.6	394.00	0.4116	9.03	11.31	14.17	17.80	20.47	25.50
185	233	23	955.0	411.00	0.4313	9.48	11.80	14.85	18.74	21.43	26.82
190	240	25	952.0	429.10	0.4208	9.91	12.30	15.57	19.59	22.42	28.03
195	243	27	949.0	446.10	0.4703	10.33	12.83	16.40	20.45	23.40	29.20
200	250	30	943.2	473.30	0.4907	10.70	13.30	16.80	21.33	24.41	30.51
205	253	33	941.2	491.10	0.5112	11.24	14.05	17.00	22.27	25.43	31.70
210	260	35	938.4	498.40	0.5311	11.68	14.06	18.70	23.08	26.42	33.02
215	263	38	934.4	515.70	0.5510	12.14	15.17	19.00	23.90	27.45	34.32
220	270	42	931.4	532.00	0.5713	12.58	15.73	19.70	24.87	28.47	35.50
225	273	45	928.2	548.25	0.5865	13.11	16.30	20.33	25.07	29.60	37.08
230	280	49	924.2	573.90	0.6110	13.66	17.07	21.38	26.00	30.80	38.01
235	283	53	920.9	594.44	0.6333	14.10	17.74	22.22	28.05	31.11	40.14
240	290	58	917.0	614.97	0.6505	14.73	18.43	23.00	29.14	33.30	41.70
245	293	61	913.4	633.40	0.6650	15.30	19.12	23.05	30.23	34.60	43.25
250	300	67	909.0	653.88	0.7211	15.80	19.82	24.53	31.34	35.87	44.84
255	303	72	905.0	674.16	0.7455	16.42	20.32	25.70	32.44	37.13	46.41
260	310	78	902.1	696.84	0.7723	16.00	21.24	26.00	33.57	38.47	48.03
275	313	84	898.3	717.37	0.7653	17.36	21.95	27.49	34.70	39.77	49.05
280	320	90	894.4	737.80	0.8249	18.14	22.95	28.40	35.85	41.03	51.20
285	323	99	890.6	761.82	0.8354	18.81	23.51	29.45	37.18	42.53	53.10
290	330	103	886.3	785.84	0.8805	19.49	24.37	30.52	38.53	44.00	55.12

(Referencia - Strock y Koral).

Pérdida de vapor (como calor) para tubería desnuda.

A	B	C	D	E	F	Diámetro nominal (pul.)																	
						AT	T	P	Cal	Pérd	Pérd	Area ext. pie ² /100 pies lin											
												de	Vap	ref	BTU	BTU	BTU	Pie ² /100 pies lin					
																		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
F.	Vap	Sat.	lb	h. ft	h. ft	Pérdidas Vap. lb./hr.																	
265	335	110	885.7	566.81	0.0175	20.18	25.22	31.56	36.27	43.64	57.61												
270	340	115	878.5	523.55	0.0200	20.77	26.09	32.68	41.25	47.71	56.02												
275	345	120	874.4	487.06	0.0225	21.37	26.97	33.78	42.04	48.20	61.00												
280	350	125	870.2	451.02	0.0250	21.98	27.86	34.89	44.04	50.41	63.07												
285	355	130	866.0	416.04	0.0275	22.61	28.77	36.03	45.48	52.05	65.07												
290	360	135	861.7	382.66	0.0300	23.25	29.67	37.16	46.92	53.68	67.10												
295	365	140	857.4	350.68	0.0325	23.91	30.60	38.31	48.53	55.34	69.16												
300	370	145	853.0	320.00	0.0350	24.58	31.52	39.47	49.53	57.03	71.20												
305	375	150	848.6	290.74	0.0375	25.26	32.43	40.80	51.28	59.03	73.20												
310	380	155	844.1	262.88	0.0400	25.95	33.33	42.17	53.16	61.07	75.24												
315	385	160	839.5	236.42	0.0425	26.65	34.24	43.50	55.16	63.13	77.01												
320	390	165	834.8	211.46	0.0450	27.36	35.14	44.84	57.34	65.21	78.81												
325	395	170	830.0	187.99	0.0475	28.08	36.07	46.20	59.82	67.34	80.63												
330	400	175	825.1	165.92	0.0500	28.81	37.00	47.58	62.46	69.46	82.48												
335	405	180	820.0	145.25	0.0525	29.55	37.96	48.98	65.20	71.65	84.26												
340	410	185	814.8	126.00	0.0550	30.30	38.93	50.40	68.05	73.84	86.01												
345	415	190	809.5	108.18	0.0575	31.06	39.92	51.84	70.95	76.02	87.72												
350	420	195	804.0	91.79	0.0600	31.83	40.93	53.29	74.08	78.19	89.38												
355	425	200	798.3	76.83	0.0625	32.61	41.96	54.76	76.34	80.34	91.00												
360	430	205	792.4	63.30	0.0650	33.40	42.99	56.25	78.71	82.48	92.58												
365	435	210	786.3	51.22	0.0675	34.20	44.04	57.76	81.19	84.61	94.12												
370	440	215	780.0	40.59	0.0700	35.01	45.10	59.28	84.11	86.73	95.62												
375	445	220	773.5	31.42	0.0725	35.83	46.18	60.81	87.14	88.84	97.09												
380	450	225	766.8	23.71	0.0750	36.66	47.27	62.45	90.26	90.94	98.53												
385	455	230	759.9	17.46	0.0775	37.50	48.38	64.18	93.46	93.03	100.00												
390	460	235	752.8	12.66	0.0800	38.35	49.50	65.99	96.74	95.11	101.43												
395	465	240	745.5	9.31	0.0825	39.21	50.64	67.88	100.09	97.18	102.82												
400	470	245	738.0	7.41	0.0850	40.08	51.79	69.84	103.62	99.24	104.17												
405	475	250	730.3	6.05	0.0875	40.96	52.96	71.87	107.29	101.29	105.48												
410	480	255	722.4	5.23	0.0900	41.85	54.14	73.96	111.00	103.34	106.75												
415	485	260	714.3	4.94	0.0925	42.75	55.34	76.10	114.74	105.38	108.00												
420	490	265	706.0	4.67	0.0950	43.66	56.55	78.29	118.51	107.41	109.22												
425	495	270	697.5	4.42	0.0975	44.58	57.77	80.52	122.31	109.43	110.41												
430	500	275	688.8	4.18	0.1000	45.51	59.00	82.79	126.23	111.44	111.58												
435	505	280	680.0	3.95	0.1025	46.45	60.24	85.10	130.17	113.44	112.72												
440	510	285	671.0	3.73	0.1050	47.40	61.49	87.44	134.13	115.43	113.83												
445	515	290	661.8	3.52	0.1075	48.36	62.75	89.81	138.11	117.41	114.91												
450	520	295	652.4	3.32	0.1100	49.33	64.02	92.21	142.11	119.38	115.96												
455	525	300	642.8	3.13	0.1125	50.31	65.30	94.63	146.13	121.34	116.99												
460	530	305	633.0	2.94	0.1150	51.30	66.59	97.07	150.17	123.29	117.99												
465	535	310	623.0	2.76	0.1175	52.30	67.89	99.53	154.23	125.23	118.96												
470	540	315	612.8	2.59	0.1200	53.31	69.20	102.01	158.30	127.16	119.91												
475	545	320	602.4	2.43	0.1225	54.33	70.52	104.51	162.39	129.08	120.83												
480	550	325	591.8	2.28	0.1250	55.36	71.85	107.02	166.49	131.00	121.73												
485	555	330	581.0	2.14	0.1275	56.40	73.19	109.54	170.60	132.91	122.60												
490	560	335	570.0	2.00	0.1300	57.45	74.54	112.07	174.73	134.81	123.45												
495	565	340	558.8	1.87	0.1325	58.51	75.90	114.61	178.87	136.70	124.28												
500	570	345	547.4	1.75	0.1350	59.58	77.27	117.16	183.02	138.58	125.09												

Pérdidas de calor a través de tubería aislada.

Conduct. ΔT (fluido-aire), °F.											
Aislante	30	50	80	110	140	170	200	230	260	290	320
Cal. Perdido (BTU/hr), por pie de tubería											
A	15	27	50	74	100	131	163	190	218	250	275
Cal. Perdido (BTU/hr), por pie de aislante											
Aislamiento esp. "1" pul. - tubería "3/4" pul.											
0.20	7	6	7	10	13	16	18	21	24	27	20
0.25	3	6	9	12	16	19	23	26	20	33	36
0.30	4	7	11	15	19	23	27	31	35	39	43
0.35	5	8	12	17	21	26	30	35	40	44	49
0.40	5	9	14	19	24	29	34	39	44	50	55
0.45	6	10	15	21	27	32	38	44	49	55	61
0.50	6	10	17	23	29	35	42	48	54	60	67
0.55	7	11	18	25	32	38	45	52	59	65	72
0.60	7	12	19	27	34	41	48	56	63	70	77
Aislamiento esp. "1 1/2" pul. - tubería "3/4" pul.											
0.20	2	4	6	8	10	12	14	16	19	21	23
0.25	3	5	7	10	13	16	18	21	24	27	29
0.30	3	5	9	12	15	19	22	25	28	31	34
0.35	4	6	10	14	18	21	25	29	32	37	40
0.40	4	7	11	16	20	24	29	33	37	41	46
0.45	5	8	13	17	22	27	32	37	41	45	51
0.50	5	9	14	19	25	30	35	40	46	51	56
0.55	6	10	15	21	27	33	38	44	49	55	61
0.60	6	10	16	23	29	35	41	47	53	59	66
Aislamiento esp. "2" pul. - tubería "3/4" pul.											
0.20	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
0.25	2	4	6	9	11	14	16	18	21	23	26
0.30	3	5	8	11	13	16	19	22	25	28	31
0.35	3	6	9	12	16	19	22	26	29	32	36
0.40	4	6	10	14	18	21	25	29	33	37	40
0.45	4	7	11	16	20	24	28	32	37	41	45
0.50	5	8	12	17	22	26	31	36	40	45	50
0.55	5	8	14	19	24	29	34	39	44	49	54
0.60	5	9	15	20	26	31	37	42	48	53	59
Aislamiento esp. "2 1/2" pul. - tubería "3/4" pul.											
0.20	2	3	5	6	8	10	12	13	15	17	19
0.25	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
0.30	3	4	7	10	12	15	17	20	23	25	28
0.35	3	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
0.40	3	6	9	13	16	20	23	26	30	35	37
0.45	3	6	10	14	18	22	26	29	33	37	41
0.50	4	7	11	16	20	24	28	33	37	41	45
0.55	5	8	12	17	22	26	31	36	40	45	50
0.60	5	8	13	18	24	29	34	39	44	49	54

(Referencia - Strock y Koral).

Pérdidas de calor a través de tubería aislada.

Conduct.	ΔT (fluido-aire), F.										
	30	50	80	110	140	170	200	230	260	290	320
Aislante	Cal. Perdido (BTU/hr), por pie tubería										
	19	34	61	90	123	160	199	243	292	343	399
	Cal. Perdido (BTU/hr), por pie de aislante										
Aislamiento esp. "1" pul - tubería "1" pul.											
0.20	3	5	8	12	15	18	21	24	27	30	34
0.25	4	6	10	14	18	23	26	30	34	37	41
0.30	5	8	12	17	21	26	30	35	40	44	49
0.35	5	9	14	19	24	30	35	40	45	50	56
0.40	6	10	16	22	27	33	39	45	51	57	63
0.45	7	11	17	24	30	37	43	50	56	63	69
0.50	7	12	19	26	33	40	47	55	62	69	76
0.55	8	13	20	28	36	44	51	59	67	74	82
0.60	8	14	22	30	39	47	55	63	72	80	88
Aislamiento esp. "1 1/2" pul - tubería "1" pul.											
0.20	2	4	7	9	12	14	17	19	22	24	27
0.25	3	5	8	11	15	18	21	24	27	30	33
0.30	4	6	10	14	17	21	25	29	32	36	40
0.35	4	7	11	16	20	24	29	33	37	41	46
0.40	5	8	13	18	23	27	32	37	42	47	52
0.45	5	9	14	20	25	31	36	41	47	52	58
0.50	6	10	16	22	28	33	39	45	51	57	63
0.55	6	11	17	24	30	37	43	49	56	62	69
0.60	7	12	19	26	32	39	46	53	60	67	74
Aislamiento esp. "2" pul - tubería "1" pul.											
0.20	2	4	6	8	10	13	15	17	19	21	24
0.25	3	5	7	10	13	15	18	21	23	26	29
0.30	3	5	9	12	15	18	21	25	28	31	34
0.35	4	6	10	14	17	21	25	29	32	36	40
0.40	4	7	11	15	20	24	28	32	37	41	45
0.45	5	8	13	17	22	27	31	36	41	46	50
0.50	5	9	14	19	24	29	35	40	45	50	55
0.55	6	9	15	21	26	32	38	43	49	55	60
0.60	6	10	16	23	29	35	41	47	53	59	66
Aislamiento esp. "2 1/2" pul - tubería "1" pul.											
0.20	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
0.25	3	4	7	10	12	15	17	20	23	25	28
0.30	3	5	8	11	14	16	19	22	25	28	31
0.35	3	6	9	12	16	19	22	26	29	32	36
0.40	4	6	10	14	18	22	26	30	33	37	41
0.45	4	7	11	16	20	24	29	33	37	41	46
0.50	5	8	13	17	22	27	32	36	41	46	51
0.55	5	9	14	19	24	29	34	40	45	50	55
0.60	6	9	15	21	26	32	37	43	49	54	60

(Referencia - Strock y Koral).

Pérdidas de calor a través de tubería aislada.

Conduct.	ΔT (fluido-aire), °F.										
	30	50	80	110	140	170	200	230	260	290	320
Aislante	Cal. Perdido (BTU/hr), por pie de tubería										
	23	42	75	111	152	198	245	302	362	427	496
A	Cal. Perdido (BTU/hr), por pie de aislante										
	Aislamiento esp. "1" pul - tubería "1" pul.										
0.20	4	6	10	14	17	21	25	28	32	36	39
0.25	5	8	12	17	21	26	30	35	39	44	48
0.30	5	9	14	19	25	30	35	41	46	51	57
0.35	6	10	16	22	28	35	41	47	53	59	65
0.40	7	11	18	25	32	39	46	52	59	66	73
0.45	8	13	20	28	35	43	50	58	66	73	81
0.50	8	14	22	30	39	47	55	63	72	80	88
0.55	9	15	24	33	42	50	59	68	77	86	95
0.60	10	16	26	35	45	54	64	73	83	92	102
Aislamiento esp. "1" pul - tubería "1" pul.											
0.20	3	5	8	11	14	16	19	22	25	28	31
0.25	4	6	10	13	17	20	24	27	31	35	38
0.30	4	7	11	16	20	24	28	32	37	41	45
0.35	5	8	13	18	23	28	33	37	42	47	52
0.40	6	9	15	20	26	31	37	42	48	53	59
0.45	6	10	16	23	29	35	41	47	53	59	66
0.50	7	12	18	25	32	38	45	52	59	65	72
0.55	7	12	20	27	34	42	49	56	64	71	78
0.60	8	13	21	29	37	45	53	61	69	77	84
Aislamiento esp. "2" pul - tubería "1" pul.											
0.20	2	4	7	9	12	14	17	19	21	24	26
0.25	3	5	8	11	14	17	20	23	27	30	33
0.30	4	6	10	13	17	21	24	28	32	35	39
0.35	4	7	11	16	19	24	28	32	37	41	45
0.40	5	8	13	18	22	27	32	37	42	47	51
0.45	5	9	14	20	25	30	36	41	46	52	57
0.50	6	10	16	22	27	33	39	45	51	57	63
0.55	6	11	17	24	30	36	43	49	56	62	68
0.60	7	12	19	26	32	39	46	53	60	67	74
Aislamiento esp. "2" pul - tubería "1" pul.											
0.20	2	4	6	8	10	12	15	17	19	21	23
0.25	3	5	7	10	13	16	18	21	24	26	29
0.30	3	5	9	12	15	19	22	25	28	32	35
0.35	4	6	10	14	16	21	25	29	33	37	40
0.40	4	7	11	16	20	24	29	33	37	41	46
0.45	5	8	13	18	22	27	32	37	42	46	51
0.50	5	9	14	19	25	30	35	41	46	51	57
0.55	6	10	15	21	27	33	39	44	50	56	62
0.60	6	11	17	23	29	36	42	48	55	61	67

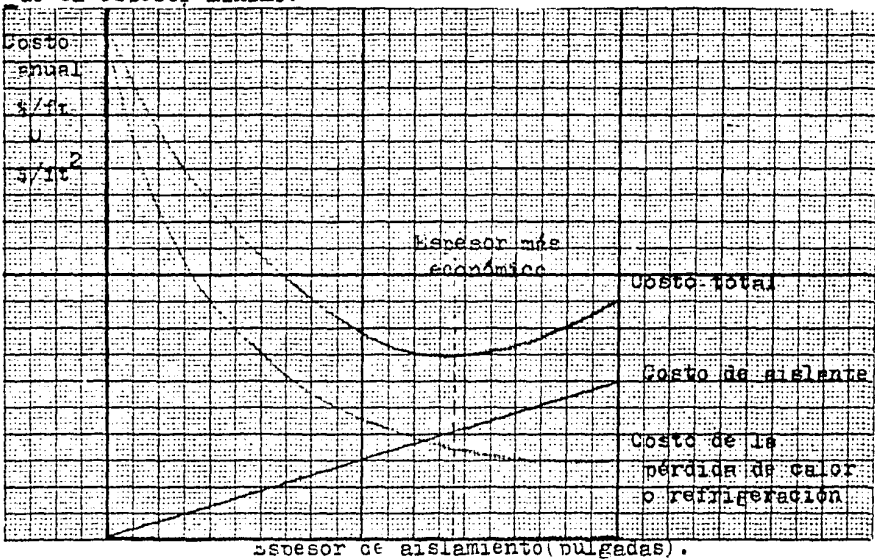
(Referencia - Strock y Koral).

ESPESOR ECONOMICO

La selección del espesor es muy importante en una instalación, ya que afecta a la inversión inicial y el ahorro final de calor o -- sus efectos retardados, el espesor más económico de aislamiento -- es aquel para el cual la suma del costo anual de la pérdida de -- calor o de refrigeración, más el costo anual de aislamiento es un mínimo.

Si se elige un espesor mayor a ese punto el costo -- total será más elevado debido al incremento de costos de aislamie_ _nto, si se toma un espesor menor, el costo total es también alto por las pérdidas excesivas de calor debidas a lo delgado del espe_ _sor.

Para cualesquiera condiciones es posible calcular el espesor económico, calculando el costo anual de pérdidas de calor y costo anual de aislamiento para un número diferente de espeso-- _res, incrementados en una pulgada o media pulgada y seleccionan-- do el espesor mínimo.



DETERMINACION DEL ESPESOR ECONOMICO POR PROGRAMACION.

Un método práctico amalgama a la técnica de programación y a los métodos comunes para resolver un problema, es decir se diseña primero una forma de resolución del problema, segundo se programa.

En el diseño se usa una de las técnicas de obtención de pérdidas de calor, en este caso la segunda de las antes vistas, cuando se obtiene el valor del calor perdido del sistema se procede a obtener las pérdidas de calor de cada una de las capas aislantes en la longitud total del sistema.

Como segunda etapa se utilizan dos factores económicos, uno de ellos referido a la recuperación de capital, que afecta al costo de cada capa de aislamiento instalada.

$$C_n = \frac{r (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

$$e = C_n + 0.03$$

El segundo se refiere al costo de combustible a la vida media del equipo, que afecta a las pérdidas de calor de cada capa aislante.

$$C_{osc.} = \frac{\text{costo } (0.65)}{10^6 \text{ BTU}} (1 + 0.072)^m = \$/\text{BTU}$$

Estos factores aplicados en forma parcial nos darán los costos respectivos anuales, que sumados dan lugar al costo total anual.

De los valores obtenidos el de menor valor será el del espesor más económico.

X (espesor del aislante) = pul.

$q = \frac{E T U}{n r / n i e}$

Costo de aislamiento = \$/año/nie

Costo de pérdidas de calor = \$/año/nie

Costo total = \$/año/nie

Datos que se alimentan al programa:

Temperatura del fluido
 Temperatura del medio ambiente
 Escala de conductividad térmica (parámetros)
 referida al tipo de aislante.
 Diámetro del ducto a aislar
 Espesor de cada capa aislante
 Diámetro interno y externo de cada capa aislante
 Longitud del sistema
 Años de vida útil del equipo
 Años de vida media del equipo
 Costo de cada capa aislante adicional instalado
 Costo actual del combustible
 Velocidad del viento (sólo para tuberías exteriores).

Conductividad térmica de aislantes:

<u>Aislante</u>	<u>Temp. (°F)</u>	<u>K=BTU/Hr(inch²) (°F/inch)</u>
Asbesto(fieltro)	100- 700	= .032+.00032T
Asbesto(corrugado)	100- 300	= .041+.000035T
Silicato de calcio	100-1200	= .031+.00028T
Tierra diatomacea/asbesto	22-1900	= .055+.000035T
Fibra de vidrio(est., ceular)-400- 300		= .0325+.000042T
Fibra de vidrio(fieltro)	-300- 600	= .021+.00005T
Pietro de melo	-150- 200	= .022+.00002T
Magnesia 85%	Atm- 600	= .034+.000028T
Lana mineral(fieltro)	-400- 250	= .0273+.000044T
Lana mineral	Atm-1700	= .035
Poliestireno	-400- 175	= .022+.00000T
Poliuretano	-50- 230	= .0142+.00001T
Corcho	-250- 200	= .025+.000033T
Fieltro de lana	32- 225	= .030+.00002T
Aislante reflector(aluminio)	Atm-1100	= .023+.000052T
Asbesto(fibra suelta)	Atm-1200	= .092+.000134T
Asbesto(compactado)	Atm-1000	= .100+.00035T
Asbesto/lana mineral	100-1500	= .058+.000064T
Tierra diatomacea(part., fina)	100-1600	= .038+.00003T
Tierra diatomacea(part., gruesa)" " "		= .032+.000024T
Fibra de vidrio(sueltay fina)-300- 600		= .010+.00008T
Magnesia 85%(no-hidratada)	Atm- 600	= .050+.00004T
Aire	-13 — 435	= 14.7 + 15 Log T

En los factores se tiene:

Cn = factor de recuperación de capital para
aislamiento

r = tasa de interés 12%

n = años de vida útil del equipo

θ = factor total
0.03= % de cargos de mantenimiento sobre el costo
de aislamiento anual.
costo= costo actual del combustible
0.65= % de eficiencia
0.072= % de incremento proyectado del combustible-
m = años de vida media del equipo.

```

1  C  ESPESOR ECONOMICO DE AISLAMIENTO TECNICO
2  C  EL OBJETIVO DEL PROGRAMA ES HACER EL CALCULO DEL
3  C  ESPESOR ECONOMICO DE AISLAMIENTO TECNICO
4  C  LAS CONDICIONES DE DISEÑO SON:
5  C  C  TEMPERATURA DEL FLUIDO
6  C  C  TEMPERATURA MEDIO AMBIENTE
7  C  C  VELOCIDAD DEL VIENTO
8  C  C  DIAMETRO DEL DUCTO
9  C  C  ESPESOR DE CAPA AISLANTE
10 C  C  TIPO DE AISLANTE
11 C  C  LONGITUD A AISLAR
12 C  PROGRAM ECONOMIA (INPUT,OUTPUT,TAPES=INPUT,TAPES=OUTPUT)
13 C  DIMENSION AA(4,4),AAF(4),AAI(4),AAE(4),A(4),AIA(4),AA(4,4),AD(4,4)
14 C  DIMENSION CA(4)
15 C  I=0
16 C  I=0
17 C  I=0
18 C  I=0
19 C  I=0
20 C  I=0
21 C  I=0
22 C  I=0
23 C  I=0
24 C  I=0
25 C  I=0
26 C  I=0
27 C  I=0
28 C  I=0
29 C  I=0
30 C  I=0
31 C  I=0
32 C  I=0
33 C  I=0
34 C  I=0
35 C  I=0
36 C  I=0
37 C  I=0
38 C  I=0
39 C  I=0
40 C  I=0
41 C  I=0
42 C  I=0
43 C  I=0
44 C  I=0
45 C  I=0
46 C  I=0
47 C  I=0
48 C  I=0
49 C  I=0
50 C  I=0
51 C  I=0
52 C  I=0
53 C  I=0
54 C  I=0
55 C  I=0
56 C  I=0
57 C  I=0
58 C  I=0
59 C  I=0
60 C  I=0
61 C  I=0
62 C  I=0
63 C  I=0
64 C  I=0
65 C  I=0
66 C  I=0
67 C  I=0
68 C  I=0
69 C  I=0
70 C  I=0
71 C  I=0
72 C  I=0
73 C  I=0
74 C  I=0
75 C  I=0
76 C  I=0
77 C  I=0
78 C  I=0
79 C  I=0
80 C  I=0
81 C  I=0
82 C  I=0
83 C  I=0
84 C  I=0
85 C  I=0
86 C  I=0
87 C  I=0
88 C  I=0
89 C  I=0
90 C  I=0
91 C  I=0
92 C  I=0
93 C  I=0
94 C  I=0
95 C  I=0
96 C  I=0
97 C  I=0
98 C  I=0
99 C  I=0
100 C  I=0

```

```

11 CONTINUE
12 WRITE(5,13)
13 FORMAT(//,10X, 'LAS TEMPERATURAS PROMEDIOS DE CADA CAPA AISLANTE SON
14     DD 15 1=1,4
15     WRITE(5,14) AA(1,1)
16     FORMAT(10X,F9.0,1X,'GRADOS F')
17 CONTINUE
18 WRITE(5,16)
19 FORMAT(//,10X, 'EN ESTE MOMENTO SE CALCULAN LAS RESISTENCIAS INTERIO
20     LAS Y SUPERFICIAL DE AISLAMIENTO, 0,7,10X, 'TORNAR DE BASE PARA CALCUL
21     DE LA P.E. DE LONGITUD CON TEMPERATURA PROMEDIO DE CADA AISLAMI
22     WRITE(5,17)
23     FORMAT(//,10X, 'LAS CONDUCTIVIDADES TERICAS SON LAS SIGUIENTES')
24     DD 19 1=1,6
25     IF(AA(11,F0,0) 00 TO 19
26     AA(2,1)=AA(11)*0.11*(AA(1,1))
27     WRITE(5,18) AA(2,1)
28     FORMAT(10X,F7.5,1X,'WATTI/M,GRADOS F) (PIES2/M)
29 CONTINUE
30 WRITE(5,20)
31     FORMAT(//,10X, 'LAS AREAS PROMEDIOS DE CADA CAPA SON')
32     DD 22 1=1,4
33     IF(AA(11,F0,0) 00 TO 22
34     AA(3,1)=(0.1/12)*(AA(11)*0.11*(1+1/ALOG(AA(1)/0.11)))
35     WRITE(5,21) AA(3,1)
36     FORMAT(10X,F8.5,1X,'PIES2/M)
37 CONTINUE
38     DD 23 1=1,4
39     IF(AA(11,F0,0) 00 TO 23
40     AA(4,1)=AA(11)/(12*AA(2,1)*AA(3,1))
41     W=0.1*AA(4,1)
42     WRITE(5,22) AA(4,1)
43     FORMAT(//,10X, 'LAS RESISTENCIAS INTERIORES SON,F6,3)
44 CONTINUE
45     WRITE(5,24) W
46     FORMAT(//,10X, 'LA RESISTENCIA INTERIOR ES =,F5,0,1X,'MILLIGRADOS F
47     //,10X, '
48     DD 25 1=1,4
49     IF(AA(11,F0,0) 00 TO 25
50     DE(1)=AA(4,1)
51 CONTINUE
52     WRITE(5,26) DE(1)
53     FORMAT(//,10X, 'MILLIGRADOS EXTERIOR ES =,F8,5,1X,'MILLIGRADOS')
54     AF(1)=(0.1/12)*DE(1)
55     WRITE(5,27) AF(1)
56     FORMAT(//,10X, 'EL AREA EXTERIOR ES =,F8,5,1X,'PIES2/M)
57     IF(W,F0,0) 00 TO 31
58     S1F=1SF-IAMB
59     WRITE(5,28) S1F
60     FORMAT(//,10X, 'EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA ES =,F3,0,1X,'GRADO
61     //,10X, '
62     DD 31 1=1,4
63     COEF=0.667*(DE(1)+0.19*(273-S1F))
64     WRITE(5,29) COEF
65     FORMAT(//,10X, 'EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA ES =,F10,0,1X,'MILLIHR
66     //,10X, '
67     DD 31 1=1,4
68     COEF=1/(COEF*AF(1))

```

```

WRITE(5,70) RSUP
70 FORMAT(//,10X,'LA RESISTENCIA SUPERFICIAL ES ="',F10.6,'X,"MM/100MMDS
) F10.6)
INOUT=TAM0
O=100/(H1*OSUP)
WRITE(5,11) O
71 FORMAT(//,10X,'LA PÉRDIDA DE CALOR DEL SISTEMA ES ="',F10.6,'X,"MM/100
)MMDS)
GO TO 61
72 TDF=(TF-TAM0)/2
I=1
OAXA(I)=(O1)*AL(OBTDF)11)
KAXA(OBTDF)
TDA=(5/100)*(TPE-12)+273
CO=CG1*(O1*TPA)+(O2*TPA*TPA)
CV=O-p
VF=(OAV)/KA,4
RO=2/10-(5*CV/CP)
RC=(V*DFX1)/VF
IF(O1,OT,4) GO TO 400
F=0,004
E=0,170
GO TO 60
400 IF(O1,OT,70,0) GO TO 405
F=0,011
E=0,106
GO TO 60
405 IF(O1,OT,700,0) GO TO 410
F=0,487
E=0,466
GO TO 60
410 IF(O1,OT,7000,0) GO TO 415
F=0,101
E=0,610
GO TO 60
415 IF(O1,OT,40000) GO TO 420
F=0,166
E=0,666
GO TO 60
420 WRITE(5,420)
420 FORMAT(//,10X,'EL VALOR DE LOS REYNOLDS ES SUPERIOR AL CALCULADO)
)STOP
O=100*(DF*F)/(RO*O1/3)/DFX1)KA
RO=1/100*(AFXT)
WRITE(5,55) OSUP
55 FORMAT(//,10X,'LA RESISTENCIA SUPERFICIAL CUANDO HAY VELOCIDAD DE V
)IENTO ES ="',F10.6)
INOUT=TAM0
O=100/(H1*OSUP)
WRITE(5,60) O
70 FORMAT(//,10X,'LA PÉRDIDA DE CALOR CUANDO HAY VELOCIDAD DE VIENTO E
)S ="',F10.6,'X,"MM/100)MMDS)
61 WRITE(5,106)
106 FORMAT(//,10X,'COMPOSICIÓN)
)O1) (5,170)
70 FORMAT(//,10X,'LOS INCREMENTOS DE LA TEMPERATURA CALCULADA SON)
)O1) 1-1,4

```



```

      IF(AA(4,1),FO,0) GO TO 140
      RR(1,1)=00AA(4,1)
      WRITE (5,135) RR(1,1)
175   135 FORMAT(10X,F4.3X,'GRADOS F')
      140 CONTINUE
      WRITE (5,145)
185   145 FORMAT(//,10X,'LAS TEMPERATURAS INTERFACIALES Y SUPERFICIAL SON LA
      1S STRAIGHTS')
      141
      RR(2,1)=FF-RR(1,1)
      WRITE (5,150) RR(2,1)
190   150 FORMAT(10X,F4.3X,'GRADOS F')
      DO 160 I=2,4
195   160 IF(RR(I,1),FO,0) GO TO 160
      RR(2,1)=RR(2,1)+RR(I,1)
      WRITE (5,165) RR(2,1)
200   165 FORMAT(10X,F4.3X,'GRADOS F')
      160 CONTINUE
      WRITE (5,165)
205   165 FORMAT(//,10X,'LAS TEMPERATURAS PROMEDIAS CALCULADAS SON:')
      161
      RR(3,1)=FF+RR(2,1)/2
      WRITE (5,170) RR(3,1)
210   170 FORMAT(10X,F4.3X,'GRADOS F')
      DO 180 I=2,4
215   180 IF(RR(I,1),FO,0) GO TO 180
      RR(3,1)=(RR(2,1)+RR(I,1))/2
      WRITE (5,175) RR(3,1)
220   175 FORMAT(10X,F4.3X,'GRADOS F')
      180 CONTINUE
      WRITE (5,195)
225   185 FORMAT(//,10X,'CON ESTAS NUEVAS TEMPERATURAS PROMEDIO SE CALCULAN
      1S CONDUCTIVIDADES TERICAS RESPECTIVAS')
      WRITE (5,190)
230   190 FORMAT(//,10X,'LAS NUEVAS CONDUCTIVIDADES TERICAS SON:')
      DO 200 I=1,4
235   200 IF(RR(I,1),FO,0) GO TO 200
      RR(4,1)=A(1)+RR(I)*RR(I,1)
      WRITE (5,205) RR(4,1)
240   205 FORMAT(10X,F7.5,3X,'UNITZ/CM (GRADOS F) (PIES 2)')
      200 CONTINUE
      DO 205 I=1,4
245   205 IF(AA(I,1),FO,0) GO TO 205
      AA(1,1)=AA(I,1)+.003
250   205 CONTINUE
      DO 210 I=1,4
255   210 IF(AA(I,1),FO,0) GO TO 210
      AA(I,1)=AA(I,1)+.003
260   210 CONTINUE
      DO 220 I=1,4
265   220 IF(RR(4,1),0) AA(1,1) GO TO 215
      IF(RR(4,1),LT,AA(4,1)) GO TO 214
      GO TO 220
270   214 WRITE (5,215)
275   215 FORMAT(//,10X,'CON CORRESPONDEN LAS CONDUCTIVIDADES TERICAS,FS DE
      1S GRADO HACER EL PROCESO DE VARIANTE,*,//,10X,'REINICIANDO DE BASI LAS 1
      1S TEMPERATURAS PROMEDIO CALCULADAS,')

```

```

230      DO 214 J=1,4
          IF (DD(17,0),EQ,0) GO TO 26
          AA(1,0)=DD(17,0)
214      CONTINUE
          26      PI=0
          GO TO 25
236      220      CONTINUE
          WRITE(5,225)
238      FORMAT(//,10X,"COMO LAS CONDUCTIVIDADES TERMICAS SON CORRECTAS, EN
          JOMBES LAS PERDIDAS DE CALOR DEL SISTEMA SON CORRECTAS.",//,10X,"SE
          PUEDEN A MANTENER LAS PERDIDAS DE CALOR DE CADA CAPA AISLANTE")
          WRITE(5,230)
240      230      FORMAT(//,10X,"LAS PERDIDAS DE CALOR DE CADA CAPA AISLANTE SON: ")
          PI=0
          DO 240 I=1,4
          IF (AA(I,1),EQ,0) GO TO 240
          QI=PI/AA(I,1)
          AA(1,1)=((1+TA*QI)/PI)*QI
          WRITE(5,235) AA(1,1)
242      FORMAT(//,10X,"I2.4.3X,"QI=PI/AA(1,1)
244      CONTINUE
          WRITE(5,245)
246      FORMAT(//,52X,"(PI/HA) //,52X," EN CADA NUMERO 2 EN //,52X," (PI/HA)
          WRITE(5,250)
248      FORMAT(//,10X,"EFICACION ECONOMICA DEL ESPESOR")
          CH=(12*(1+12)*PI)/(1+12)*PI-1
          WRITE(5,255) CH
250      250      FORMAT(//,10X,"EL FACTOR DE RECUPERACION DE CAPITAL PARA AISLANTE
          10 EN 24.87.5)
          Q=CH/0.07
          WRITE(5,260) Q
260      260      FORMAT(//,10X,"EL FACTOR TOTAL ES 24.87.5)
          WRITE(5,265)
262      FORMAT(//,10X,"EL COSTO DE CADA ESPESOR ES")
          DO 270 I=1,4
          IF (CA(I),EQ,0) GO TO 275
          AA(I,1)=0.0CA(I)
          WRITE(5,270) AA(I,1)
272      FORMAT(//,10X,"I2.4.3X,"(AA(I,1)/PI)*Q
274      CONTINUE
          WRITE(5,280)
276      FORMAT(//,10X,"COSTO ANUAL DE COMBUSTIBLE A LA VIDA MEDIA DEL EQUI
          PO Y AL 6% DE EFICIENCIA)
          S=(C0*0.06*(5/1000)*PI*(1+0.06)**5)
          WRITE(5,285) S
278      280      FORMAT(//,10X,"EL COSTO DE COMBUSTIBLE ANUAL ES 24.87.3X,"(PI/HA)*
          S
          WRITE(5,290)
282      FORMAT(//,10X,"EL COSTO DE LAS PERDIDAS DE CALOR SON: ")
          DO 310 I=1,4
          IF (AA(I,1),EQ,0) GO TO 310
          AT(I,1)=AA(I,1)*QI
          WRITE(5,310) AT(I,1)
312      FORMAT(//,10X,"I2.4.3X,"(AA(I,1)/PI)*Q
314      CONTINUE
          WRITE(5,320)
316      300      FORMAT(//,10X,"COSTO TOTAL DEL EQUIPO")

```

```

DO 370 1=1,4
IF(AA(4,1),EQ,0) GO TO 370
RR(1,1)=AA(2,1)+AA(4,1)
WRITE(5,725) RR(1,1)
375 FORMAT(1,10X,F0,2,1X,"%/ANN/PIG")
370 CONTINUE
WRITE(5,735)
376 FORMAT(1,10X,"HNE LOS DESGASTOS EL VALOR QUE SEA MÍNIMO ES EL ESP
RESPO MAS ECONOMICO")
END
    
```

SYMBOLIC REFERENCE MAP (PAR)

ENTRY POINTS
4141 ECONOMY

VARIABLES	SH	TYPE	DEFINITION				
6136 A	REAL	ARRAY		6302 AA	REAL	ARRAY	
6137 AA	REAL	ARRAY		6332 AAX	REAL	ARRAY	
6166 AN	REAL	ARRAY		6247 ARYT	REAL	ARRAY	
6167 B	REAL	ARRAY		6346 BB	REAL	ARRAY	
6126 BB1	REAL	ARRAY		6406 CA	REAL	ARRAY	
6254 CC	REAL			6250 CODEFS	REAL		
6273 CODEC	REAL			6261 CP	REAL		
6272 CV	REAL			6266 DFYT	REAL		
6277 F	REAL			6266 F	REAL		
6277 FF	REAL			6241 G1	REAL		
6362 G2	REAL			6274 G3	REAL		
6309 HC	REAL			6232 J	INTEGER		
6263 I99	INTEGER			6233 J	INTEGER		
6260 KA	INTEGER			6272 L	INTEGER		
6255 O	REAL			6257 OA	REAL		
6273 O	REAL			6277 O1	REAL		
6264 OO	REAL			6252 O	REAL		
6240 OA	REAL			6265 OF	REAL		
6261 OFALTP	REAL			6245 O1	REAL		
6251 OSUP	REAL			6301 S	REAL		
6264 S1T	REAL			6236 TAMB	REAL		
6271 T1	REAL			6276 T1	REAL		
6270 TDA	REAL			6256 TPT1	REAL		
6235 TSP	REAL			6275 V	REAL		
6263 V1	REAL						

FILE NAMES
0 00001

PARA OUTPUT

0 TAMP2

T11

0064 TAMP5

T11

EXTERNALS
AL 00 REAL 1 100000

STATEMENT LABELS

0 1	INACTIVE	6047 2	END	6077 1	END
0 4		6106 5	END	0 6	
0 7	END	0 1		6111 1	END

PROPIEDADES DEL AISLANTE ELABORADO

Las propiedades del producto elaborado son en cierto modo un reflejo de las propiedades de la materia prima y del desarrollo de las etapas de proceso para obtener el material aislante, estas propiedades determinan en un momento dado la calidad del producto terminado, sus rangos de aplicación, en que y donde usarlo, estas propiedades para cada uno de los materiales son:

Corcho.- Es un material poroso que contiene gran cantidad de espacios llenos de aire, es ligero, absorbe lentamente la humedad, es durable e inodoro, es combustible aunque no en forma espontánea, no resiste a la acción de los ácidos, es buen aislante térmico y acústico, tiene la desventaja de permitir la procreación de insectos, en aislamientos a bajas temperaturas requiere de barrera de vapor, la conductividad térmica del corcho granulado es aproximadamente de 0.31 a 0.33 BTU/ft.h.^oF/pulgada., - en placa es de 0.25 a 0.31 BTU/ft.h.^oF/pulgada., estos valores cambian algo con las densidades que oscilan entre 6.9 - 10 Lb/ft³.

Filtro de pelo.- Es un material aislante de alta calidad a bajas temperaturas, ligero, absorbe lentamente la humedad, su conductividad térmica es aproximadamente 0.246 BTU/ft.h.^oF/pulgada., su densidad es 17 Lb/ft³., no resiste la acción de los ácidos, es combustible.

Aislamiento reflector.- Es un material ligero pesa alrededor de tres onzas por pie cúbico, su separación entre hojas permite pequeños espacios de aire por lo que no conduce con facilidad el calor, es a prueba de fuego y termes, tiene una elevada resistencia a humos y vapores industriales, tiene una transferencia de calor muy pequeña, el aluminio pulido tiene un elevado coeficiente de reflexión para el calor radiante con una reflexión máxima del 90% del calor radiante, resiste temperaturas ---

hasta 1200°F.

Perlita expandida - fibra de asbesto.- Es un material ligero preformado, resistente a la combustión, es rígido, tiene buena resistencia a la compresión, alta resistencia al esfuerzo cortante, tiene una resistencia limitada a la tensión y a la flexión, absorbe lentamente la humedad, resiste al vapor en forma moderada, es útil en rangos de temperatura medios, su densidad este entre 10 - 14 Lb/ft³., su conductividad térmica oscila entre 0.33 a 0°F., y 0.46 a 100°F., BTU/ft.h.°F/pulgada.

Magnesia 85%.- Este material es ligero, rígido, el 90% de su volumen es espacio de aire, tiene un valor aislante muy bueno, útil a temperaturas medias, tiene alta resistencia a la compresión, al esfuerzo cortante, resistencia limitada a la flexión y a la tensión, resistencia regular a el agua, moderada al vapor, es algo quebradizo y no es recomendable en sitios donde haya vibración fuerte, seco es inerte a reactivos químicos con excepción de ácidos, cuando se humedece es corrosivo a las aleaciones del material que recubre y pierde resistencia mecánica, tiene una densidad entre 10 - 16 Lb/ft³., sus límites de temperatura son de 212° - 550°F., su conductividad térmica 0.37 a 212°F., y 0.44 a 400°F., en BTU/ft.h.°F/pulgada.

Tierra diatomácea - fibra de asbesto.- Este es un material rígido, ligero, resistente a altas temperaturas, tiene buena resistencia a la compresión y tensión, limitada a la flexión, resistencia regular a la humedad, resistencia moderada al vapor, alta resistencia al esfuerzo cortante y a la compresión, sus límites de temperatura de uso son entre 212° - 1900°F., su densidad 25 Lb/ft³., su conductividad 0.59 a 212°F., y 0.62 a 500°F. en BTU/ft.h.°F/pulgada.

Poliestireno extruido.- Es un material impermeable a la humedad -- y medianamente permeable al vapor, la espuma se endurece pero no es quebradiza, tiene una resistencia moderada a la compresión, -- regular a la tensión, buena resistencia estructural, resiste ba-- _jas temperaturas, a 175°F., el material se suaviza y deforma, su rango de operación es -200° a 200°F., su densidad es 1 a 4 Lb/ft.³, su conductividad térmica 0.24 - 0.30 a 75°F., en BTU/ft.h.°F/pul.

Poliuretano.- Es un material rígido, ligero, cuando se deforma no vuelve a recuperar su forma original, tiene buena - estabilidad dimensional a temperaturas relativamente altas y tam-- _bién a bajas temperaturas, muy buena capacidad de aislamiento, - alta resistencia a la compresión y baja absorción de agua, la --- característica de celda cerrada minimiza la absorción de agua y - sus características de flotación se conservan por largos periodos, se utiliza en aislamientos a bajas temperaturas, su densidad es - de 1.8 a 2.2 Lb/ft.³, su conductividad térmica esta entre 0.09 a -200°F., y 0.14 a 75°F., en BTU/ft.h.°F/pulgada.

Lana mineral.- lana mineral es un material incom-- _bustible a excepción de la pequeña cantidad de material orgánico que se usa como impermeabilizante o aglutinante, es inmune a la - putrefacción, de la humedad del medio ambiente sólo adquiere el - 1% humedeciéndose nada más su superficie aunque sumergiendolo en agua sus espacios se llenan de agua, tiene baja conductividad tér-- _mica e inherente densidad dependiendo entre sí y del diámetro, -- longitud y estructura física de la fibra, la orientación de la -- misma y su relación de perdigones.

El rango de diámetro de fibra se encuentra entre 5 - 7 micras, su longitud entre 3' - 13 mm., para lana de escoria y de 13 - 25 mm., para lana de vidrio, en cantidad de perdigones desde

casí ninguno hasta un 75% en peso, pero en volumen viene dado por un 5% máximo.

La lana mineral tiene una estabilidad acorde a su -- composición, es una fibra vítrea superenfriada formada con sílice --
 _tos complejos fundidos de calcio, magnesio, aluminio y hierro, normalmente es estable al medio ambiente humedo, pero cuando se --
 tiene una fibra con alto contenido de óxido alcalino esta es ata--
 _cada por el medio ambiente humedo, cuando contiene óxido de hie--
 _rro es muy estable aún en atmósfera caliente y humeda, la lana --
 mineral se debe obtener con un alto contenido de sílice para evi--
 _tar que reaccione con los ácidos, cuando es bajo su contenido de --
 sílice los ácidos débiles vuelven friables a las fibras y el áci--
 _do fuerte la hace polvo y en ocasiones la disuelve. Las solucio--
 _nes alcalinas siempre atacan a la lana mineral, esta tiene sulfu--
 _ros en 1% máximo y cuando no esta impermeabilizada si tiene exce--
 _so de sulfuros, al entrar en contacto con la humedad reacciona --
 liberando azufre y forma una solución ligeramente ácida que ataca --
 a metales comunes, al tener humedad constante la lana forma una --
 cataplasma que se pega al material y puede provocar corrosión en --
 las aleaciones, su densidad es 4 - 14 lb/ft³, con límites de tem--
 _peratura -150° a 1200° F., y su conductividad de 0.25 a 32° F., y --
 0.30° a 500° F., en BTU/ft.h.F/pulgada.

Fibra de vidrio..- La fibra de vidrio esta formada --
 por un conjunto de cilindros de vidrio de diámetro muy pequeño, --
 por lo que tienen las propiedades del vidrio permaneciendo inalte--
 _rables hasta determinadas temperaturas, la fibra de vidrio mol--
 _deada con resina fenólica es de gran aceptación debido a su efi--
 _ciencia térmica, ligereza, fácil manejo, incombustibilidad y ca--
 _lidad inorgánica, no favorece la procración de insectos ni bacte--
 _rias, tiene gran estabilidad dimensional, su caracter poroso per

mite la fácil salida de la humedad que penetra, no resiste impactos o vibraciones por su carácter elástico, soporta temperaturas desde -84°C (-120°F), su densidad es de 1 a 2 Lb/ft^3 , su conductividad varía de 0.275 a 0.235 a 75°F , o de 0.341 a 0.291 a 24°C , en $\text{BTU/ft.h}^{\circ}\text{F/pulgada}$.

La fibra de vidrio moldeada con resina fenólica tiene buena flexibilidad y baja resistencia al fuego directo, cuando se le aplica el segundo aglutinante este le proporciona mayor resistencia a la temperatura sin sufrir notables modificaciones, su conductividad térmica anda entre 0.025 mínimo y 0.62 a 1000°F , su poder higroscópico es muy bajo ya que no tiene poros o cavidades, su superficie es totalmente lisa, adquiere una humedad máxima de 1.85%, tiene una densidad de 4.5 - 7.5 Lb/ft^3 , tiene gran resistencia a los ácidos, alcalis y vapores corrosivos.

Silicato de calcio. - La baja conductividad térmica, la incombustibilidad, nula reacción química, son características del vidrio, deseables para cualquiera de los aislantes que se utilizan, el silicato de calcio hidratado no es un vidrio pero se obtiene de materiales similares, la baja conductividad que ofrecen sus extremadamente pequeños espacios de aire confinado que ofrecen alta resistencia al calor, a la vez que le proporciona al material baja densidad, su conductividad es de 0.500 a 500°F , es un material efectivo hasta 1200°F , aunque se ha desarrollado otro producto que resiste temperaturas de 1800°F , tiene gran resistencia a la humedad, cuando se moja al secarse conserva su propiedad térmica y estructural, cuando se le adiciona pequeñas cantidades de asbesto su resistencia aumenta, su factor de contracción es bajo siendo menos de 1% a 1000°F , es resistente a la tensión, compresión y flexión, como también a la abrasión, tiene una densidad entre 10 - 11 Lb/ft^3 .

Refractarios. - Los materiales refractarios en general no tienen un punto de fusión definido, por su naturaleza compleja tienen un intervalo de reblandecimiento sin conocerse el punto de transición entre el estado sólido y el líquido, la dureza y resistencia mecánica de un refractario dependen de los puntos de fusión de sus constituyentes cristalinos y de la cantidad y viscosidad del vidrio que pueda contener.

La refractariedad bajo carga es importante pues en estas condiciones está sujeto a tensiones que pueden originar su deformación a menor temperatura que la de su punto de fusión, la textura influye sobre las propiedades refractarias y esta viene dada por el tamaño de grano de la arcilla, la forma de grano favorece la vitrificación y un ladrillo de textura fina se reblandce a temperatura menor que otro de grano grueso.

El peso específico de un refractario tiene poca importancia ya que tiene una naturaleza compleja, durante la cocción se contrae el volumen del material y esta debe ser total para evitar que continúe durante su uso lo que produciría aberturas y grietas en la estructura.

La dilatación térmica en general es pequeña hasta 1000°C., a temperaturas altas muchos refractarios se contraen debido al reblandecimiento del aglutinante, la conductividad térmica aumenta con la temperatura y su valor depende de la textura del material, del grado de cocción y de otros factores, un aumento en la cocción trae como consecuencia un aumento en la conductividad, los poros tienen efecto sobre la conductividad pues en ellos se transmite el calor por radiación, lo que es importante a temperaturas elevadas, un material más poroso tiene una conductividad menor que otro con menos poros.

El desconchamiento térmico se genera por el desarrollo de tensiones en el interior del ladrillo por cambios en el gradiente de temperaturas, para resistirlo un ladrillo debe tener un coeficiente de dilatación bajo y una resistencia elevada.

La acción de las escorias sobre el refractario son físicas y químicas, el mayor daño que se produce es por la reacción química entre la escoria y el refractario produciéndose primero la disolución química y después la disgregación y erosión.

Los gases presentes en la atmósfera del horno como el monóxido de carbono, metano y vapor de agua, pueden tener una acción destructiva sobre el refractario, como este estará expuesto al contacto de sólidos o gases en movimiento deben tener buena resistencia a la abrasión, esta resistencia disminuye con el aumento en la temperatura, un material de grano fino y cocción a alta temperatura tiene mayor resistencia a la abrasión que uno de grano grueso y cocción a baja temperatura.

PROCESOS DE ELABORACION DE LOS AISLANTES TERMICOS

Un proceso de elaboración consiste en una serie de etapas sucesivas que comprenden condiciones de operación y reacciones entre los componentes que lo conforman, generalmente se empieza con la materia prima combinándola con los reactivos necesarios en cada etapa, operando estas bajo ciertas condiciones de presión y temperatura para obtener el producto terminado, lo que implica cambios físicoquímicos.

Dentro de los procesos de manufactura de aislantes, algunos cambios son meramente físicos resultando un proceso sencillo, y la materia prima no tiene cambios en su estructura para funcionar como aislante, otros procesos por el contrario implican cambios físicoquímicos donde el conocer las condiciones de operación de las etapas es necesario, ya que son estas quienes rigen el camino del cambio de estructura, esto permite tener buen control del producto terminado.

La descripción de los procesos de aislamiento térmico empieza con los procesos sencillos donde sólo hay cambios físicos en la materia como son el corcho, fieltro de pelo, aislamiento reflector, continuando con aquellos que aplican cambios físicoquímicos sencillos hasta los que son verdaderamente complejos en sus cambios de estructura interna como son los refractarios.

CORCHO

El corcho se obtiene de la corteza de un árbol que pertenece a la familia de las encinas, este árbol tiene muchos años de vida útil aprovechando su corteza por primera vez a los 10 - 15 años, y sólo es de utilidad para fines ornamentales, su corteza se extrae

por segunda ocasión siete años más tarde en forma de planchas curvas, que se aplanan sumergiéndolas en agua y comprimiendo al mismo tiempo, carbonizándolas ligeramente o sometiendo a la cocción del vapor en calderas de cobre para cerrar sus poros.

El corcho granulado se hace a partir del aserrín y los fragmentos resultantes de la elaboración de planchas, para reducir las a su tamaño útil se tiene el cuidado de eliminar las fibras de corteza que contienen arena y se tamiza, para usarlo como aislante se eligen los trozos grandes y medianos.

El corcho regranulado tiene una composición diferente al granulado, se obtiene de dos formas fino o basto, el fino contiene partículas casi en polvo hasta trozos de un cuarto de pulgada por lado, y el basto oscila entre un cuarto a tres cuartos de pulgada por lado.

FIELTRO DE PELO

El fieltro de pelo se obtiene a partir de pelo de bovidos, sometiendo primeramente a un cuidadoso proceso de lavado y limpieza, después se comprime mediante una máquina especial, se le da la forma de mantas con dimensiones de dos a seis pies de ancho y un espesor que varía de un cuarto a dos pulgadas, la longitud puede variar hasta los cincuenta pies máximo.

AISLAMIENTO REFLECTOR

Este aislamiento se basa en la transferencia de calor por aire en un espacio pequeñísimo entre dos cuerpos manteniendo el gradiente de temperatura constante, de manera que la transmisión por convección es despreciable y la conducción por aire es pequeña, de --

manera que la transmisión de calor se reduce al mínimo entre dos láminas metálicas paralelas con baja emisividad y alta reflexividad para que la radiación sea mínima también.

Este material se encuentra formado por capas sucesivas de hojas de aluminio con un espesor entre sí de 0.0003 pulgadas, un método sencillo consiste en arrugar las láminas de aluminio, formando pliegues y superficies irregulares en toda su superficie, logrando espacios con una superficie mínima de contacto, la longitud de la hoja original se reduce entre 10 - 15 % , y la cantidad de calor transferido por conducción a través de los pliegues es pequeña dado su poco espesor y limitada área de contacto entre láminas.

PERLITA EXPANDIDA - FIBRA DE ASBESTO

En este proceso se obtienen productos preformados, usando como materia prima perlita expandida, fibra de asbesto, silicato de sodio y agua.

Primero se mezclan uniformemente la fibra de asbesto y la perlita expandida, las fibras de asbesto proporcionan las cualidades de refuerzo necesarias para permitir el moldeo y la elaboración del material preformado, la perlita expandida contiene en poca cantidad diminutas celdillas o burbujas que contienen aire.

Una vez que se encuentra lista la mezcla se le adiciona agua y silicato de sodio como aglutinante, el agua es absorbida en su mayor parte por la perlita que aumenta de tamaño, la mezcla se moldea o preforma en moldes que se someten a presión utilizando para esto prensas mecánicas, el material moldeado se forra con mantas de cielo que ayuda a mantener la forma que se le

ha dado, el material moldeado contiene humedad por lo que se somete a la acción de secado en un horno durante un tiempo determinado a temperatura constante, por acción del calor la perлита pierde el agua que contenía en sus poros, y sus espacios vacíos se llenan de aire que sustituye a el agua, lo que impide que la masa sufra contracción, una vez que se ha secado el material este sale del horno y se almacena.

Otra forma similar consiste en utilizar magnesio en forma de carbonato al 35% en lugar de la perлита llevandose a cabo el proceso anterior.

Una más consiste en utilizar perлита expandida, fibra de asbesto y tierra de diatomáceas, esta mezcla se usa a temperaturas elevadas.

También puede ser sílice de diatomeas y fibra de asbesto.

PLASTICOS

POLIESTIRENO EXTRUIDO.- Como materia prima se usa poliestireno en forma granular, se mezcla con un agente nucleante como talco, bicarbonato de sodio o ácido cítrico, la mezcla se alimenta a un extrusor, el cual consta de dos pasos, en el primero funde los ingredientes y en el segundo los mezcla uniformemente con un gas inyectado que funciona como agente espumante, que puede ser freón o hidrocarburos.

En el primer paso, el calor adicional necesario para plástificar el material, se aplica por medio de resistencias de calentamiento, y en el segundo paso se incrementa el espesor de la espuma al doble reduciendo el volumen de la espuma en su almacenamiento.

cenaje. La mezcla fundida se bombea bajo presión a un segundo extrusor que es más largo que el primero, donde se homogeneiza más la mezcla fundida y reduce la temperatura de mezcla a 265 F., por medio de un sistema de enfriamiento y pasa a un dado el cual le da la forma de hoja espumante en su sección de salida, con una densidad que tiene un rango de variación entre 0.064 a 0.22 gr/cm³, y con un espesor de 0.025 a 0.38 cm., dependiendo del ajuste del orificio de salida, velocidad de jalado y el radio de abertura para el diámetro de la burbuja, es posible trabajar con una burbuja horizontal usando un mandril para dar enfriamiento y una o dos hendiduras para producir uno o dos cortes, después del corte, las hojas se enrollan en unos rodillos tipo "S" de 36 a 48 pulgadas de diámetro y 42 pulgadas de ancho, y se almacenan, en este sitio termina la expansión del material pues el agente espumante iguala su presión con la de la atmósfera y contribuye a expandir más la espuma.

POLIURETANO RIGIDO.- Para obtener el poliuretano se efectúa una reacción entre un poliol de bajo peso molecular con una funcionalidad de tres o más isocianatos poliméricos, el espumado ocurre en la polimerización por la reacción del isocianato con agua para formar CO₂, o por la vaporización de solventes inertes con bajos puntos de ebullición.

La polimerización se controla usando como catalizador amina terciaria, para que el efecto espumante provoque células cerradas, se usan agentes surfactantes para controlar el tamaño celular y la uniformidad del producto, son copolímeros de silicón para el tipo de reactivo y espuma por fabricar.

La mezcla de poliol, silicón surfactantes, agente espumante, catalizador y el activador, se vierten en un mezclador

de alta velocidad, debido a la velocidad de reacción, es crítico el cálculo del tiempo y se requiere de un equipo sofisticado, los elementos mezclados se transportan de una manera uniforme sobre un transportador de banda, la espuma que se genera se sostiene entre placas laterales formando un cojín continuo de 36 - 48 pulgadas de ancho y 12 - 24 pulgadas de alto, en un tiempo relativamente corto la espuma adquiere firmeza y se puede cortar para su curación y enfriamiento, se pule y corta en varios espesores, cuando se moldea en el sitio, la mezcla química se vierte en el molde, donde se espuma llenando las aristas y formando un núcleo sin costura y fuerte.

LANA MINERAL

Para obtener la lana mineral se parte de escoria como materia prima, ya que cuando se utiliza roca natural o piedra caliza se tienen grandes pérdidas por calcinación, se emplean escorias de hierro de alto horno, las de refinado de cobre, de plomo de alto horno y las escorias de fosfatos del horno eléctrico, se emplean solas o mezcladas con otras escorias o con materias silíceas tal como arenisca o grava silícea.

La materia prima se funde en cubilotes que poseen una camisa de enfriamiento, donde se usa agua como medio de enfriamiento, en el cubilote se ponen capas alternadas de escoria y coque, una parte en peso de coque y cinco de escoria, la temperatura de fusión se encuentra en un rango de 1590° - 1705°C., una vez que se ha fundido la mezcla esta sale por un ducto hacia un partididor donde la corriente principal se subdivide en dos o más corrientes, y cada corriente hace contacto con la corriente de vapor que sale de unas toberas, en esta parte del proceso se añe-

den también sustancias orgánicas con objeto de obtener una cubie
 _rta más uniforme de las fibras cuando estas se encuentran en sus
 _pensión neumática, generalmente se adiciona aceite mineral lige
 _ro al 0.5% en peso, el cual sirve para quitar el polvo de las --
 fibras rotas y las partículas reducidas a polvo no fibrosas, otro
 procedimiento es agregar una solución impermeabilizante que con--
 _tiene ácido esteárico.

El soplo de vapor golpea a la corriente de escoria -
 fundida con una presión que varía entre 352 gr. a 88 Kgr/cm.², por
 efecto del soplo de vapor la escoria fundida se desmenuza en goti
 _tas diminutas llamadas perdigones que al ser impulsadas por el -
 vapor se estiran en forma de lagrimas enormemente alargadas que -
 en movimiento propiciado por el impulso, y una vez que cesa el --
 soplo de vapor se enfría solidificando y cae en forma de fibras -
 a lo largo de la cámara colectora, esta se encuentra recubierta -
 interiormente con tabique refractario, la cabeza del perdigón se
 desprende de muchas de las fibras y de otras no, muchos de los --
 perdigones no alcanzan el impulso deseado chocando contra las pa
 _redes de tabique refractario de la cámara colectora, lo cual evi
 _ta que la fibra se alargue pasando a formar parte de los perdigo
 _nes y subproducto, aun así la cantidad de fibra en la lana cruda
 es muy grande comparada en volumen con los perdigones.

Una vez que se obtiene la lana mineral en fibras, pa
 _ra acabado de la misma se tienen dos procedimientos, uno es en -
 base seca para manufectura de guata y mantas, al salir de la cáma
 _ra colectora se mezcla con aglutinante, resina fenol formaldehi
 _do soluble en agua o aceite secante, regulando el grosor de acue
 _rdo a la velocidad del transportador que sale de la cámara, des
 _pués se comprime hasta la densidad y grueso deseado, pasando a -
 un horno de cocción donde el aglutinante fragua, se enfría y el -

producto se puede cortar según necesidades o darle tratamiento a su superficie, tiene una densidad y elasticidad controlada, pres
ntación flexible y ligera, semirrígida o rígida.

El otro procedimiento es en base húmeda, la lana mi-
neral suelta o granulada se mezcla con agua adicionando un aglu-
tinante, mezcla de emulsión de asfalto, pulpa de papel y bentoni-
ta o almidón, la mezcla húmeda pasa a un filtro de vacío conti-
nuo donde elimina el agua y se le da forma, se seca hasta una --
condición rígida y se le dan las dimensiones con equipo de corte,
y por último se almacena en un sitio adecuado.

FIBRA DE VIDRIO

La materia prima que se utiliza en este proceso es arena silica,
alúmina, caliza, rasorita (bórax), cenizas de soda y sulfato de
sodio, además de los aglutinantes.

Primer aglutinante: Resina fenol formaldehído, se cu-
re en la estufa, polimeriza y --
une las fibras.

Gotas de aceite soluble, actua co-
mo emulsificador y lubricante de
la solución aglutinante.

Sulfato de amonio, imparte color
amarillo a la fibra.

Solución de amoniaco, regula el -
pH del aglutinante y evita la for-
mación de precipitado.

Segundo aglutinante: Hexametafosfato de sodio

Acido bórico	Proporcionan
Acido fosfórico	mayor resisten--
Bentonita	cia a alta
Silicato de aluminio	temperatura.

Un aerosol, funciona como agente humectante.

Un antiespumante, evita la formación de espuma al preparar la solución.

Solvente orgánico, se usa para tener una disolución homogénea.

La materia prima se mezcla en proporción de acuerdo a su pureza, quedando como arena finamente mezclada, que pasa a la tolva de donde se alimenta en forma continua por medio de un transportador de cangilones a el horno, este esta constituido por un cuerpo y un antecuerpo recubierto de ladrillo refractario, en el horno se realiza la fusión de la materia prima teniendo tres etapas que son fusión de materia prima, afinación y acondicionamiento, realizandose los fenomenos de fusión de los constituyentes, modificación de estado cristalino, desprendimiento gaseoso, volatilización parcial, deshidratación de algunos ingredientes, disociación de carbonatos y sulfatos, formación de óxidos, pasando a través de tres etapas de temperatura.

Reacciones entre 20° - 740°C., las primeras reacciones en el horno son de hidratación de la materia anhidra con las que contienen humedad desprendiendo calor y dando lugar a:

Formación de SiO_2 y bicarbonato de calcio.

Formación de mezcla eutectica $2\text{CO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO}$ a 600°C.,

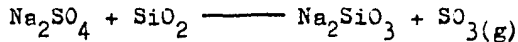
que funde a una temperatura inferior a la de sus con
stituyentes, quedando en fase líquida la materia --
prima.

Formación de sulfato de sodio $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 2\text{CO}$
empieza la descomposición del carbonato de calcio.

La alúmina queda casi inerte.

Reacciones entre 740° - 900°C., reacciona el eutecti-
co con la sílice dando silicatos de sodio y calcio, desprendien-
dose bióxido de carbono, comportándose como no fundidos la arena
y el feldespato.

Reacciones entre 900° - 1400°C., se digieren arena y
feldespato que no han intervenido utilizando un cullet extraño de
fácil fusión, la arena provoca dureza al vidrio debido a que este
esta saturado de SiO_2 , el Na_2SO_4 funde a 1400°C., se usa como --
fundente y afinante.



El Na_2SiO_3 disminuye la saturación de SiO_2

El $\text{SO}_3(\text{g})$ provoca acondicionamiento de vidrio y favo-
rece su afinado.

Después de 1400°C., toda materia se encuentra vitri-
ficada y pasa a la fase de afinación.

El vidrio fundido pasa del horno al entecuerpo donde
se mantiene tanto el nivel como la temperatura constante, con ---
objeto de tener un grado de viscosidad en el fundido, de manera -

que se encuentre listo el vidrio para fibrar, el vidrio fundido pasa a través de dos orificios o bushings calentados eléctricamente a potencial constante, de manera que su resistencia es pequeña y por lo tanto es buen conductor, todo ello con objeto de evitar que el vidrio fundido se enfríe y solidifique al pasar a través de él.

Del bushing el vidrio fundido pasa al fibrador a través de su parte central constituida por el "quill" o tubo de acero que tiene una chaqueta por donde circulan gases calientes que evitan el enfriamiento de la masa fundida durante su trayecto hasta llegar a la parte inferior donde se encuentra la taza de platino y alrededor de esta el spinner, ambos giran a alta velocidad por lo que al pasar el vidrio fundido a través de ellos se fibra, saliendo como fibra o lana de vidrio, impulsada por una corriente de gas o vapor a presión utilizando un sistema de toberas, produciéndose la ruptura en el hilo debido a el esfuerzo desarrollado por el peso del mismo y el chorro de vapor.

A la lana de vidrio al salir del fibrador se le aplica el primer aglutinante por medio de un sistema de esreado, este aglutinante une las fibras recubriendolas con una película delgada, haciendolas al mismo tiempo más flexibles y moldeables.

La fibra de vidrio ya aglutinada cae sobre una banda transportadora donde se esta aplicando vacío el cual hace que se fije a la banda la fibra de vidrio aglutinada, y la placa de fibra a formar dependerá de la velocidad de dicha banda, de aquí pasa a la estufa de polimerizado donde se termina de formar la placa de fibra de vidrio, haciendo pasar primero a la placa de fibra a través de dos bandas una arriba de otra, que giran en sentido opuesto y que se calientan con quemadores, al entrar entre ambos la placa de fibra es compactada y calentada, debido a este

calor la resina fenolica se cura y polimeriza, adquiriendo forma estable y de buena resistencia.

En esta etapa se obtienen las fibras de vidrio que son útiles a bajas temperaturas, y para obtener la fibra resistente a altas temperaturas se aplica un segundo aglutinante, con objeto de darle precisamente una resistencia térmica elevada.

Se prepara el aglutinante en un tanque mezclador, de aquí se bombea hasta un sistema en cascada, debajo de este sistema pasa la placa de fibra sobre una banda transportadora que tiene un sistema de vacío o succión y que al aplicarse la materia aglutinante su impregnación sobre la placa de fibra de vidrio sea más homogénea.

Después de aplicar el segundo aglutinante la placa de fibra de vidrio sale con cierta humedad, por lo que se hace pasar en carros de charolas a través de un tunel de secado, con el aire de secado fluyendo en sentido contrario al movimiento de los carros, los que se mantienen dentro del tunel un tiempo determinado, de aquí pasan por último a sitios de almacenamiento adecuado quedando listos para su distribución.

SILICATO DE CALCIO

El silicato de calcio hidratado se obtiene a partir de una mezcla de piedra caliza y sílice.

El método más común para obtenerlo es el de hidratación que a su vez se divide en dos procedimientos utilizando los siguientes materiales:

Sílice	_____	25 - 30%
Cal	_____	20 - 40%

Fibras de amianto	_____	0 - 20%
Cemento	_____	0 - 15%
Espesantes inorgánicos	_____	0 - 8%
Espesantes orgánicos	_____	0.1- 6%
Agua	_____	75 - 600 lx%

- de sólidos

Procedimiento de lodos.--La materia prima es sílice y cal, se mezclan con agua adicionando un espesante orgánico y fibras de amianto o asbesto, mezclando bien hasta adquirir la consistencia de lodo con una pastosidad adecuada, aquí el silicato absorbe gran cantidad de agua, y las fibras de asbesto le proporcionarán al producto propiedades de resistencia mecánica.

Cuando se ha logrado darle la consistencia de lodo a la mezcla, esta se vierte sobre moldes, que se introducen a un autoclave que trabaja a una temperatura de 170°C., y una presión de vapor de 3 - 10 atmósferas, donde las piezas se someten a un tiempo de residencia de 3 - 10 horas aproximadamente hasta que las piezas secan, se endurecen curan o fraguan.

En esta parte del proceso toda el agua absorbida por el silicato se desprende en forma de vapor, dejando en la pieza gran cantidad de pequesísimos poros, ya que la pieza no se contrae permaneciendo el mismo volumen en el molde, esos poros vacíos se llenan de aire, lo que le proporciona a la pieza de silicato de calcio hidratado una conductividad térmica pequeña, lo mismo que una baja densidad, obteniéndose un buen aislante térmico. Transcurrido el tiempo de secado, se sacan los moldes de silicato de calcio del autoclave, se separa la pieza del molde y se almacena.

Procedimiento de gel.- En forma similar al procedimiento anterior se mezclan cal, sílice y agua, añadiendo cemento, espesantes o -- acelerantes inorgánicos.

La gelificación de la mezcla se obtiene por trata---
_miento previo a la acción de mezclado, debido a que hay una rea-
_cción rápida entre la cal y la sílice a una temperatura inferior
a 100°C., por lo mismo también se puede mezclar en frío obtenien-
_do iguales resultados.

Quando la gel queda lista se vierte sobre los moldes
calentados por vapor, dándoles un endurecimiento preliminar, su--
_ficiente para desmoldear los productos y manejarlos después de -
un período de curado en cámaras calientes, se sacan del molde y -
se someten a un fraguado de 8 - 10 horas como en el procedimiento
anterior.

En ambos procesos al someterse las piezas a un fra--
_gado o endurecimiento en el autoclave, el agua se separa de la
masa y la densidad de las piezas disminuye, es decir se obtiene -
un silicato de baja densidad, cuando se desean obtener productos
de mayor densidad se adiciona a la mezcla materiales finamente --
molidos de baja granulometría, obteniéndose superficies especifi-
_cas muy elevadas.

REFRACTARIOS

Un material refractario se encuentra constituido de material inorgánico no metálico que puede ser sometido a condiciones severas de operación, la materia prima consiste de diversas arcillas que se muelen o trituran hasta obtener la fineza deseada, como la arcilla molida contiene impurezas estas se separan utilizando la diferencia de peso específico entre ambas, usando tableros de aire o por decantación.

Para elaborar un refractario se utilizan mezclas de arcillas plásticas y no plásticas variando la cantidad de uno y otro según el producto que se desee obtener, la materia prima se mezcla en la proporción deseada en una amasadora agregando la cantidad de agua necesaria hasta darle a la mezcla la consistencia conveniente, cuando se encuentra lista se procede a moldear, para esto se tienen varios métodos.

El método para barbotina donde se usan moldes delgados de yeso que absorbe muy poca humedad de agua de la mezcla que entra a presión al molde, la pasta endurece, se seca y se cuece hasta alcanzar la porosidad deseada del 16 - 18%.

En el método de extrusión y corte por alambre se fuerza el paso de la mezcla de arcilla por medio de una presión elevada a través del troquel, saliendo por una boquilla en forma de columna homogénea con una velocidad uniforme en todos sus puntos para evitar la aparición de tensiones, y en el taladro se deben evitar la aparición de laminados que tienen lugar en el centro de la columna y que aparecen como hendiduras en forma de "S", para reducir la fricción en la boquilla esta se lubrica con aceite o con vapor, cuando la columna de arcilla sale del taladro moldeada se corta en secciones uniformes al hacer pasar a través de ella uno o más alambres de acero, las piezas semimoldeadas pasan por

una máquina de reprensado donde se les da la forma y tamaño definidos quedando listos para la etapa de secado.

En el método de prensado en seco la mezcla de arcilla debe tener poca humedad con una consistencia del 7 - 10% de agua, dejándose envejecer durante 24 horas, pasando a una tolva donde continúa el mezclado, de donde fluye hacia una prensa y se efectúa el prensado de manera uniforme, utilizando equipo de vacío para sacar el aire de las mezclas, que produciría grietas a la hora de retirar la presión aplicada, de esta manera se obtienen piezas fuertes, resistentes a la presión, quedando listas para la etapa de secado.

Los bloques de dolomita aglomerados con alquitrán, se procede primero a calcinar la dolomita rápidamente pero evitando que se destruya por oxidación, para obtener buenas propiedades que se reflejarán en el producto final, se forma una chamota densa adicionando en ocasiones pequeñas cantidades de óxido de magnesio para incrementar la vida del material, posteriormente se adiciona del 6 - 10% de alquitrán y se mezcla en caliente, aun caliente la mezcla se comprime con una prensa mecánica, posteriormente se deja enfriar y no se llevan a cabo las etapas de secado y cocción.

En el moldeo del ladrillo refractario aislante se toma en cuenta que es un material muy poroso y ligero, los poros se forman al adicionar a la mezcla plástica ciertos materiales o partículas orgánicas, material sublimable, burbujas de gas o un material refractario de alta porosidad.

Cuando se utiliza madera triturada el material debe estar bien repartido por toda la masa, de manera que al calcinarla queden los huecos, si en lugar de madera se adiciona burbujas

de gas se hace junto con una sustancia estabilizante para mantener las burbujas separadas entre sí y evitar la tendencia a formar unidades mayores, repartiéndose uniformemente en toda la masa, si se adiciona aluminio o zinc pulverizado y álcali con yeso estabilizador, cada partícula del metal se descompone y forma una burbuja de hidrógeno dentro de la masa.

Posteriormente se moldea la masa, si esta contiene materia orgánica se moldea por el método de masas blandas, si contiene burbujas se vierte la masa en moldes quedando esta totalmente asentada, una vez moldeada se cuece, en el caso de la madera esta se quema totalmente y la arcilla sinteriza convirtiéndose en una masa rígida, bajo estas condiciones la contracción es grande, y para mantener las dimensiones precisas, los ladrillos pasan a través de una máquina de dimensionado automático.

La siguiente etapa consiste en secar la masa moldeada, el material moldeado pasa a un secador tipo túnel que tiene en la parte inferior unos serpentines que conducen vapor, el cual se utiliza para realizar la acción de secado, se colocan los ladrillos en unos cajetines perforados para permitir el aumento en la velocidad de secado, estos van sobre vagonetas que se mueven sobre rieles a una velocidad uniforme a lo largo del túnel, el túnel está dividido en secciones de manera que cada sección tiene un control de temperatura y humedad.

Para una mayor transferencia de calor en el secado se utilizan ventiladores impulsando el aire en dirección contraria al flujo de las vagonetas, moviéndose el aire caliente entre todas las superficies a secar, distribuyendo el calor a una velocidad deseada y arrastrando el vapor de agua, el que sale por un escape en la parte superior del túnel.

El aire se recircula para un mejor aprovechamiento, recogiendo a la entrada del secador y alimentándose en la sección de salida, al comensar el proceso se presentan valores altos de temperatura y humedad con muy poca pérdida de agua en la superficie de los ladrillos, la humedad disminuye a medida que el material pasa a través del túnel.

Para secar se usa una temperatura entre 50°C. (120° F), a 90°C. (190° F), dependiendo del tipo de arcilla y del tamaño de las piezas, ahora bien durante el secado ciertos efectos tienen lugar, la pieza moldeada tiene la cantidad de agua suficiente sólo para llenar sus espacios vacíos, permitiendo un rápido secado, cuando entra al secador tiene en su superficie una película de agua y al secarse esta por acción del calor, una nueva película se formará con el agua que contienen los poros, moviéndose a través de ellos hacia la superficie con la misma rapidez con que se evapora, siendo la velocidad de secado por unidad de área de superficie sustancialmente la misma que para una superficie libre de agua.

Esto es cierto exceptuando a las superficies finamente divididas o cuando la velocidad de secado es muy alta.

La salida de agua hará que la pieza se contraiga en un volumen igual al de la pérdida de agua, el agua sale de los poros y se contrae la pieza hasta que la película entre las partículas es tan delgada que casi se tocan entre sí y cesa la contracción entrando aire a sustituir a el agua, como el agua que queda no se puede mover tan rápidamente hacia la superficie para mantener la película superficial continua, la velocidad de secado disminuye de forma brusca, denominándose punto crítico al momento en que cese de la contracción.

Pasando el punto crítico la película superficial continua se rompe, retrocediendo hacia el interior de los capilares y proporcionando a la arcilla un color claro, como prosigue el secado, el agua en el interior de la estructura se convierte en vapor, que se mueve a través de los capilares casi vacíos hacia la superficie, las últimas trazas de agua no se eliminan, debido a que una pieza totalmente seca resulta difícil de manejar y quebradiza.

Cuando se tiene un material con muy poco contenido de agua el secado se lleva a cabo rápidamente, abajo del punto crítico cesa la contracción y el vapor se escapa sin producir una presión demasiado elevada que pudiera hacer estallar la pieza.

Durante el secado se controla la humedad disminuyéndola al reducir la viscosidad de agua en los capilares por acción de la temperatura, calentando hasta alcanzar la temperatura máxima en una atmósfera saturada antes que la mayor parte del proceso haya tenido lugar.

La última fase es la cocción del material seco, en esta parte se estabiliza y fortalece la estructura de un refractario, y tiene gran importancia ya que este se estabiliza a una temperatura tan alta o más que la de trabajo, durante la cocción tienen lugar ciertos efectos:

Efecto del calor sobre la materia arcillosa.- El caolín bien cristalizado se calienta lentamente hasta la temperatura de 450°C. (842°F.), momento en que pierde peso en un 14% y absorbe calor en 170 calorías por gramo, al aumentar el calor la estructura se rompe y forma meta-caolín, al aproximarse a 950°C. (1740°F.), aparece un nuevo cristal, por encima de 1049°C. (1920°F.), la estructura cambia de forma gradual en mullita y cristobalita con una fase amorfa o vitrea. En un material arcilloso con

cristales menos perfectos, las transformaciones son menos agudas y no hay una correspondencia de alineación entre el material de caolinita inicial y el resultante.

Efecto del calor sobre minerales hidratados.- Los minerales hidratados al calentarse gradualmente van perdiendo sus grupos "OH", dando lugar a la formación de corindón como resultado final, todos contienen sílice en forma de arcilla por lo que se obtendrá una mezcla de mullita, corindón y vidrio de sílice-alumina, los minerales son; gibsita ($Al(OH)_3$), bayerita ($Al(OH)_3$), bohemita ($AlO(OH)$), y diásporo ($HALO_2$).

Influencia de las impurezas.- Las impurezas que contiene la arcilla son carbonatos y sulfuros, si la arcilla se cuece rápidamente de manera que los gases de reacción quedan atrapados en la estructura, da lugar a la formación de un núcleo mal cocido llamado corazón negro, en esta parte intervienen los materiales fundentes que disminuyen la viscosidad de la fase vítrea, al disminuir la fase vítrea se incrementa la velocidad de reacción a menor temperatura de operación, los fundentes son álcalis compuestos de hierro, fluoruros y tierras alcalinas.

Contracción y porosidad en las arcillas.- La contracción es una propiedad inherente al tipo de arcilla, en una pieza muy compacta se presenta menor contracción que en una menos compacta, un producto menos compacto dará lugar a piezas terminadas dentro de los límites permitidos disminuyendo el agrietamiento que se presenta por contracción. La porosidad de la arcilla influye en cierto sentido, los poros abiertos se presentan antes de la temperatura de maduración y tienen efecto en la permeabilidad y otras propiedades, en cambio los poros cerrados aparecen a veces después de la temperatura de maduración.

Comportamiento de refractarios no arcillosos.- Se tienen seis variedades cristalinas de la sílice, cuarzo, tridimita y cristobalita que tiene formas alotropicas a alta temperatura con simetrías distintas y que no pueden pasar de una a otra forma por simple efecto de la temperatura de reacción, para ello se hace uso de aditivos como cal llamados mineralizadores, se desea siempre una inversión lenta puesto que si ocurre de manera rápida, el cambio de volumen tiene lugar en un espacio muy reducido produciéndose grietas o rompimiento del ladrillo.

Cianita y minerales asociados.- La cianita, andalucita y sillimanita tienen la misma formula " SiO_5Al_2 ", al calentarse se transforman en mullita, vidrio y cristobalita, como la mullita tiene una densidad mayor a la de los otros dos, hay una expansión de volumen en la conversión en un lapso demasiado corto para combinarse con la contracción de las arcillas que sucede en un lapso superior, sin embargo se puede obtener un producto del mismo volumen antes y después del calcinado.

Magnesita.- Tiene cristales demasiado pequeños pero al incrementarse la temperatura y el tiempo crecen tomando la estructura de panal cúbica, a mayor temperatura de cocción será menor la porosidad.

Cal.- El carbonato de calcio calcinado da origen a el óxido de calcio químicamente más estable que pudiera usarse como refractario siempre que estuviera protegido de la humedad.

Minerales del cromo.- La cromita " FeCr_2O_4 ", es térmicamente estable y no sufre aparentemente transformaciones polimorficas hasta alcanzar su punto de fusión, tiene como impurezas al estado sólido Ca, Ag, Al, silicatos, la sílice en gran cantidad forma un gran volumen de vidrio de sílice, disminuyendo la -

resistencia mecánica de los refractarios a alta temperatura, pero adicionando "MgO", en cantidad adecuada disminuye la cantidad de vidrio obteniéndose un producto superior.

Minerales a base de silicato magnésico.- Los minerales base son olivino, talco y serpentina, al mineral básico se le añade cantidad suficiente de magnesita para convertir el meta-silicato de bajo punto de fusión en un ortosilicato de alto punto de fusión.

Reacciones en estado sólido.- Gran parte de los procesos de cocción de materiales refractarios ocurre en estado sólido o con muy poca fase líquida, la reacción entre sólidos ocurre por un relajamiento de enlaces atómicos por agitación térmica, dando lugar a una difusión mutua de los diversos átomos hacia la parte adyacente de la estructura, obteniéndose cristales grandes que crecen a partir de los pequeños, y formación de un cristal nuevo a partir de dos cristales diferentes.

Prensado en caliente.- Cuando se calienta un polvo a una temperatura inferior a la del punto de fusión, tiende a sinterizar formando una masa no porosa, cuando existe algo de fase vítrea, la sinterización continua en un margen grande de temperaturas, si no lo hay, la sinterización ocurre en un margen estrecho, cuando dicho polvo se sujeta al mismo tiempo a calentamiento bajo una presión directa se acelera el fenómeno de sinterización convirtiéndose rápidamente en una masa sólida.

Utilización de la chamota.- Para reducir la contracción de los refractarios se hace uso de un material no-plástico que ya ha sido cocido alcanzando un volumen estable, el cual sirve como esqueleto de compactación al ladrillo durante la operación de cocción, como la estructura global esta controlada por el material no-plástico y este tiene un volumen de huecos del 25%

se puede añadir un aglomerante arcilloso en esa cantidad de manera que al contraerse no afecte el volumen de la pieza entera.

Minerales expansionables.- La contracción de un refractario de arcilla se controla añadiendo un mineral que expande durante la calcinación, mezclado con arcilla en estado crudo o con arcilla y chamota, la cianita que posee granos gruesos se resquebraja debilitando su estructura y los granos demasiado finos dan una expansión muy pequeña, cuando se tiene un sólo tamaño se rompen en un corto margen de temperatura dando una expansión no deseable.

Hinchado.- La reducción de la contracción puede efectuarse si se hincha la arcilla o forma burbujas en el vidrio por descomposición de sulfuros, carbonatos, etcétera, si este efecto se produce con cierta amplitud porque no se puede controlar, pero bajo presión se contrae en una sola dirección.

En la cocción de la materia moldeada y secada el horno más utilizado es el de tipo túnel, consiste en una cámara alargada que se mantiene a determinada temperatura graduada convenientemente de extremo a extremo, la carga se transporta en vagones que se mueven a través de la cámara y se encuentra a su paso las variaciones de calor deseado.

Se recupera el calor de los gases de combustión para calentar la carga que entra, utilizando el calor de los ladrillos que se enfrían para precalentar el aire de combustión o para secar ladrillos.

La carga entra por un extremo del túnel y se calienta gradualmente alcanzando la temperatura máxima en la zona caliente, posteriormente se enfría a medida que sale de la zona de los quemadores, el aire frío es forzado a penetrar por el extremo de la -

salida utilizando un ventilador, este aire pasa a través de la -- carga enfriandola y recogiendo calor al mismo tiempo, después pa-- sa por la zona de combustión adquiriendo calor de los gases de -- combustión y pasa a través de la carga que va entrando calentando -- la, retirando una pequeña parte de él por medio de un aspirador en la entrada y recirculando gran parte a través de toda una se-- cción transversal de precalentamiento para igualar temperaturas en la carga, normalmente los gases se retiran por varios puntos -- en la zona de precalentamiento para obtener la curva de temperatu-- ras deseada, mientras más larga sea la zona de precalentamiento los gases saldrán más fríos y se tendrá una mayor eficiencia, los gases alcanzan temperaturas entre 100°C. (212°F.), y 400°C. --- (750°F.), y el producto sale con una temperatura entre 50°C. -- (120°F.), y 150°C. (300°F.).

Después de que el producto ha pasado por el horno, -- sale caliente y un enfriamiento rápido fracturaría la pieza, por lo que entra a una cámara de enfriamiento, donde se enfría lenta-- mente quedando listo para almacenar y distribuir.

SEGURIDAD INDUSTRIAL EN LOS PROCESOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislamiento térmico como cualquier proceso de manufactura ---- emplea para labores un sistema que comprende; a el hombre, la má-
_quina y el medio ambiente. Tomando a el hombre como ejecutor de una de las tres funciones que realiza; percepción de sensaciones, procesamiento de la información y control.

Dicho sistema debe estar diseñado desde la etapa de planificación de la industria para prever los posibles accidentes o reducirlos al mínimo, ya que la mejor manera de combatir a los accidentes es evitarlos, es decir impedir que se generen.

Para esto se utilizan programas que incluyen técni--
_cas de adiestramiento convenientes al buen desarrollo de las la-
_bores, supervisión y control de condiciones y actos inseguros de trabajo, reducción de errores mediante el empleo de indicadores y controles que regulen las condiciones y actos que contribuyen a -
propiciar el accidente, así mismo el obrero debe contar con un --
sitio de trabajo que tenga comodidad, confort, servicios, orden y limpieza.

En forma general se puede decir que la industria de aislamiento térmico cuenta con una diversidad de equipos y situa-
_ciones que hace necesario el empleo de la seguridad industrial - como una herramienta de trabajo en cada una de sus áreas, ya que un accidente se traduce en pérdidas económicas de equipo y de pro-
_ducción, así como en ocasiones de vidas humanas, por lo que un - ingeniero debe estar compenetrado con el tema pues entra en sus - responsabilidades de trabajo y que aún sin serlo, en cierta forma le compete el que se obseven las normas previstas para evitar ---
accidentes.

Ahora veremos que es la seguridad industrial y como se puede prevenir un accidente.

La seguridad industrial preve los accidentes profesionales utilizando el control de las condiciones de trabajo y de los actos personales, formando actitudes favorables a la seguridad, mediante normas, comprendiendo su importancia y ateniéndose a ellas.

Los problemas que se presentan para prever los accidentes en forma general son de índole organizativa, un programa de seguridad se debe incorporar en cada proceso, en cada diseño de producto y en cada operación, y al mismo tiempo forma parte de las operaciones de una compañía.

En una industria las labores se encuentran formadas por sistemas con sus componentes relacionados entre sí, complementándose y afectándose unos a otros, de manera que un fallo o defecto en el funcionamiento en alguno de los componentes puede afectar a los demás degradando el funcionamiento de la tarea o labor.

Un sistema se encuentra formado por; máquinas, herramientas, productos químicos, factores ambientales, personas, documentos, etc.

Un accidente es un acontecimiento inesperado que interrumpe o interfiere el avance ordenado de la actividad o proceso de producción, por lo que el ambiente, equipo y o planificación se deben diseñar para disminuir al mínimo la exposición a accidentes, con ello también se reducen las necesidades de adiestramiento y supervisión para el control de actos inseguros.

El llevar un registro de accidentes proporciona la información necesaria para realizar programas de prevención de

accidentes, si ocurre un accidente se debe tomar en cuenta los --
actos, así como las condiciones inseguras ya que se interrelacio--
_nan entre sí al producirse el accidente.

El accidente cae dentro de dos categorías; las que -
tienen como resultado lesiones en el trabajo, y las que causan --
daños a la propiedad o se interponen a la producción de forma que
produce una lesión personal, encontrándose dentro de costos asegu
_rables y no asegurables, los accidentes se deben prevenir median
_te un programa y control de peligros ocupacionales para la salud,
con base en un desempeño adecuado del trabajo, adiestrando al tra
_bajador mediante técnicas que influyen en el comportamiento huma
_no, lo que reduce los posibles errores, dichos errores se evitan
en gran medida promoviendo la prevención de los mismos, tomando -
en cuenta que el factor humano actúa a todo nivel industrial y --
que cada individuo es diferente a los demás pero que sus activida
_des y muchas de sus necesidades son similares, y por lo tanto la
seguridad se debe enfocar a las reacciones emotivas que junto con
las actitudes que se forman durante las reacciones son las que --
pueden perturbar las precauciones y procedimientos de seguridad.

Como no se puede prever toda condición peligrosa y -
actos inseguros ni todos los problemas, al obrero se le debe esti
_mular a emplear un criterio más amplio en situaciones dudosas en
donde él deba decidir. La prevención de accidentes debe empezar -
desde la planificación del proyecto de una industria nueva o de -
modificaciones en una ya existente, al tomar medidas adecuadas --
desde la planificación se evitarán numerosos accidentes, enferme
_dades ocupacionales, explosiones e incendios. Previendo las si--
_tuaciones de emergencia se pueden reducir al mínimo el peligro -
de posibles daños a la propiedad y a las personas, que en casos -
de desastre puede ser necesario la evacuación, la protección de -

los bienes y las operaciones de la planta, considerando en esta posibilidad tener que reasumir las tareas bajo condiciones un tanto inadecuadas.

Dentro de la etapa de planificación se establece el que un trabajador tenga un sitio de trabajo libre de peligros reconocidos que puedan causar un accidente o lesiones y cumpla con las normas ocupacionales de seguridad y salud.

Si no es posible eliminar una causa de accidentes -- por medio de una revisión de ingeniería, mediante resguardos, o -- reduciendo el tiempo de exposición a polvos, nieblas, vapores peligrosos, calor o ruidos excesivos a niveles aceptables, entonces se debe usar equipo de protección personal con equipo adecuado y asegurarse de que el trabajador lo utiliza. Los obreros --- habrán de tener confort y comodidad para esto la empresa debe contar con suministro de agua para beber y aseo, cocina, eliminación apropiada de aguas residuales y basura, instalaciones para servicios personales, sanitarias y de alimentación, calefacción y ventilación satisfactorias.

Existe la necesidad de contar con programas de salud ocupacional, que protejan la salud de los trabajadores, prevenir o controlar accidentes y enfermedades ocupacionales y no-ocupacionales, reduciendo la incidencia de casos de incapacidad y sus -- consecuentes horas perdidas de trabajo.

Para prevenir las lesiones por manipulación de materiales se aconseja el uso de equipo protector, como son guantes y zapatos de cuero, protectores oculares y delantales de cuero, -- polainas de cuero, cuando se manipula con sólidos tóxicos se deberá exigir la ducha diaria para eliminar el material, evitar el -- contacto con la piel de productos químicos, se usarán trajes lava

bles de tejido fino preferentemente batas largas. Los puntos de trabajo y las transmisiones mecánicas se protegerán y encerrarán, de esta forma se evitan los posibles accidentes tanto a la máquina como a la persona, la máquina estará fija en el suelo para evitar movimiento a menos que esta sea portátil, contando con un espacio de buena iluminación que permita trabajar alrededor de la máquina facilitando de esta manera los objetivos de producción.

Las lesiones en esta zona se deben principalmente al empleo de procedimientos incorrectos o de prácticas de trabajo inseguras, el orden y la limpieza contribuyen a que la operación sea segura, la observación de reglas correctas en el mantenimiento de una zona de trabajo ordenada ayuda a crear buenos hábitos en las labores con la consiguiente prevención de accidentes.

En el área donde se labore con polvos y fibras, para respirar se utilizarán mascarillas adecuadas, tomando en cuenta lo pequeño de las partículas a ser retenidas en los filtros, cambiando estos cada vez que sea necesario. En esta área se incluyen sistemas de ventilación y extracción para controlar las sustancias suspendidas en el aire que puedan causar molestias o enfermedad, sirven de vehículo de transporte para la calefacción y limpieza del aire que es un factor muy importante en el medio ambiente de labores.

La mayoría de las enfermedades ocupacionales se producen por inhalación, absorción o ingestión de agentes químicos en forma de vapores, gases, polvos, humos y nieblas, o por el contacto de estos materiales con la piel. Los extremos de temperatura, presión, vibración mecánica y movimientos repetidos, así como exposiciones a la radiación y ruido producen fatiga física en el ambiente de trabajo, para controlar estos factores se pueden realizar sustituciones de materiales peligrosos, aislamiento

o cercamiento de una tarea para reducir el número de personas expuestas, usar protección personal especial, ventilación general, métodos de humectación para reducir la generación de polvo, aspiración local en el punto donde se genera la fuente contaminante, orden y limpieza con instalaciones de aseo, métodos especiales de control para peligros específicos y por último un adiestramiento y educación para suplementar las medidas de control de seguridad.

Las labores con equipo eléctrico pueden crear peligros innecesarios por no seguir las normas de seguridad, existiendo la necesidad de un adiestramiento del personal que trabaja en las instalaciones o equipo eléctrico.

El manejo de líquidos inflamables se debe realizar tomando precauciones generales debido a que un manejo inadecuado de los mismos llega a provocar efectos tóxicos sobre los obreros o puede producir explosiones e incendios.

Los incendios se deben controlar en el momento oportuno, antes de empezar, mediante programas de inspección periódicas localizando las zonas donde se puede generar, como almacenamiento incorrecto de materiales inflamables, violación a las reglas que prohíben fumar y acumulación excesivo de materiales o polvos inflamables, así como del equipo contra incendio.

Las áreas donde se maneje equipos expuestos al fuego, de alta o baja presión como calderas, son áreas restringidas con buen alumbrado que permita buena visibilidad, aseados, con más de una salida y debe tener paro de emergencia pues las fugas, vibración y exceso de presión, además de gases a alta presión al romperse un recipiente o tubería pueden producir explosiones e incendios.

USOS Y APLICACIONES

USOS

En forma general un aislante se utiliza ahí donde es necesario -- evitar pérdidas de calor, procurando un aprovechamiento máximo de este, haciendo uso de un material adecuado dentro de los rangos - especificados de temperatura de operación, además como producto - elaborado tiene otras propiedades lo que permite su uso en otras ramas de la industria, estas propiedades se las proporcionan los componentes que conforman a cada uno de ellos, dando por resulta-
do el que un material tenga varios usos.

Corcho.- Se usa como aislante térmico a bajas tempe-
raturas, es un buen aislante acústico, se usa para tapizar pare-
des, en cubiertas de muebles, decoración y linoleos.

Fieltro de pelo.- Se utiliza como aislante del soni-
do y del calor.

Hojas de aluminio.- Es un material incombustible, -- ligero y de alta reflexión del calor, soporta humos y vapores -- industriales, si se usa en lugar del corcho reduce el aislamiento en 35% en peso y las pérdidas de calor en 5%, se puede usar a tem-
peraturas menores a cero grados y máximas de 1200°F.

Plásticos.- La espuma de polietileno es uno de los - materiales plásticos, se usa como material de empaque de equipo - delicado, aislante térmico, en la construcción como juntas de ex-
pansión flexibles, la espuma de poliestireno se usa como aislan-
te a bajas temperaturas, para almacenaje, gabinetes de refrigera-
ción, por su resistencia estructural en la industria de la cons-

trucción, como aislante de techos externos, en construcción de paneles tipo sandwich, empaques de productos de consumo, la espuma de poliuretano es un aislante que se utiliza a bajas temperaturas, en la construcción, muebles y empaque.

Tierra de diatomáceas.- Tiene un uso muy diversificado en la industria en general, filtración, aislamiento térmico, materiales de relleno, aditivos y como clarificador de jugos azucarados, de disolventes de petróleo, aceites y jabones, en aislamiento térmico se usa como silicato de calcio mezclado con asbesto tiene uso a altas temperaturas.

Asbestos.- Se usa como aislante, tubería de asbesto cemento, almohadillas para filtros, telas, filtración de vinos, jugos, productos farmacéuticos, sueros y agua, como aislante se usa de forma corrugada de varias capas alternadas y comprimidas de papel asbesto, colocado en sitios donde no este sujeto a abusos mecánicos externos y las vibraciones y contracciones sean pequeñas, como fieltro de asbesto presenta una estructura sólida y flexible, también manuable, se usa a una temperatura máxima de 700°F, se recomienda para líneas subterráneas y vibrantes, calentadores y otras superficies donde el aislante esta sujeto a servicio rudo, en una mezcla formada por asbesto, perlita expandida y silicato de calcio o tierras diatomáceas se puede usar a altas temperaturas 1200°F, máximo, y expuesto a servicio rudo.

Fibra de vidrio.- En forma de vidrio celular se usa a bajas temperaturas apropiado para cámaras frías, como fibra de vidrio aglutinada con resina fenólica se puede usar a una tempera

temperatura máxima de 232 °F, se puede exponer a vibraciones y contracusiones protegida debidamente, también es un aislante acústico, como fibra de vidrio con doble aglutinante se usa a elevadas temperaturas, en equipos industriales, en este rango de temperatura también se usa fibra de vidrio blanca sin aglutinante.

Lana mineral.- El producto original se usa como material de relleno, medio filtrante para ácidos y gases corrosivos, material de embalaje de recipientes con ácido y aislante del calor y del sonido para uso general, en forma granulada se usa como aislante en casas ya existentes o en equipo industrial en juntas o grietas del mismo, como guata con papel kraft impregnado de asfalto en una de sus caras que sirve de barrera contra el vapor, se usa como aislante para inserción en muros, suelos o techos, entrepiés derechos, viguetas y cabrios de nueva construcción, las mantas industriales a bajas temperaturas son similares a la guata, ligeras y rectangulares de tamaño acomodable al equipo a aislar, se usan en refrigeradores, congeladores y estufas de cocina, ductos de acondicionamiento de aire y calefacción, refrigeradores industriales, la lana suelta ligeramente aceitada se usa en forma de manta para aislar a altas temperaturas hornos, cambiadores de calor, calderas y equipos industriales, comprimida en forma de bloques se usa en refrigeración y calefacción industrial, como tabla rígida en cubiertas de naves industriales y comerciales, en cubiertas de tubos para bajas temperaturas, en forma granulada combinada con arcilla y asbesto formando el cemento aislante, las fibras gruesas sirven como medio de filtración y como aislante del sonido.

Silicato de calcio.- Se usa como placas densas, duras y fuertes, empleadas para tabiques y techos, particularmente en em-

barcaciones donde la resistencia al fuego es fundamental, en materiales ligeros en forma de planchas o formas moldeadas que se usan en aislamiento a altas temperaturas de tuberías, calderas, etc.

Refractarios.- Se usan a temperaturas muy elevadas donde los materiales aislantes no se pueden usar debido a las condiciones críticas del proceso, se usan en recubrimientos interiores de hornos y en otros equipos de procesos, en ocasiones se usa una pared intermedia de ladrillo aislante entre la pared del horno y el refractario, que permite el uso de paredes más delgadas con menor absorción de calor, asimismo también un calentamiento y enfriamiento más rápidos del horno, el ladrillo aislante limita su utilización pues este no resiste el abuso mecánico.

APLICACIONES

Un aislante se aplica para evitar pérdidas de calor, estabilizar la operación que se efectúa, proteger al personal, proteger al equipo contra el fuego, también de la humedad del medio ambiente. Un buen aislante debe resistir a las altas o bajas temperaturas a que se expone sin deteriorarse, o en el caso de bajas temperaturas a no ser afectado por la humedad, en algunos casos debe ser fuerte y flexible capaz de resistir un uso riguroso, tensión, compresión, expansión, contracción, y resistir vibraciones y a la acción de productos químicos, que sea incombustible o que retarde la acción del fuego, en otros casos debe tener poco peso, ser inodoro, no permitir la procreación de insectos.

Además de esto el tipo de aislante se elige de acuerdo al rango de temperatura, el área superficial, pérdidas de calor tolerables, espesor y conductividad térmica, también se toma

en cuenta la humedad del medio ambiente para prevenir la posible corrosión o congelación, el tipo de forma fabricada y además el costo resultante.

En el uso de aislamiento comprendido en el rango de baja temperatura se toma en cuenta la humedad del medio ambiente, para evitar posible condensación que perjudique a el aislamiento, un aislante se puede utilizar dentro de uno u otro de los rangos de temperatura esto lo determina las propiedades físicas del material, la aplicación de un aislante es similar en cualquier rango de temperaturas.

Se fabrican en varias formas; medias cañas o cubiertas moldeadas seccionadas para tubería, bloques, mantas, laminas.

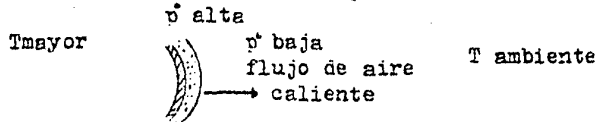
Para un aislamiento a baja temperatura se usan materiales rígidos tales como corcho, fibra de vidrio, espuma de poliestireno, espuma de poliuretano, lana de roca suelta, fieltro de pelo, fieltro de lana.

Estos materiales se consideran de uso para sistemas de enfriamiento donde un aislante debe tener alta eficiencia, resistencia natural a la humedad, a los agentes químicos, baja densidad y baja capilaridad, estabilidad dimensional a los cambios de temperatura, resistencia estructural adecuada y una superficie que facilite un acabado exterior.

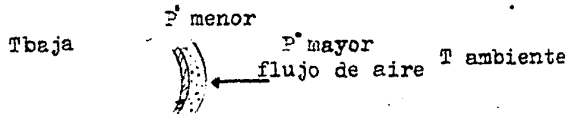
El aislamiento en estos sistemas es mayor que el utilizado a temperaturas más elevadas, esto es porque se necesita mantener la barrera de vapor a una temperatura mayor que la de condensación del aire en el lado caliente, se puede explicar de la siguiente manera.

El aire tiene una presión de vapor gobernada por su temperatura y humedad relativa, si la temperatura y humedad son altas la presión de vapor del aire será alta, por el contrario si son bajas la presión de vapor también, por lo que se puede esta--

establecer un flujo de aire de mayor a menor presión:



Ahora en una superficie aislada a bajas temperaturas la superficie interior del aislante se encuentra a una temperatura menor a la ambiental y la presión de vapor por lo tanto será menor en la superficie interior, y se establecerá un flujo de aire y de vapor de agua presente en el aire hacia el interior, siendo un flujo proporcional al gradiente de presiones. El vapor de agua que ha penetrado junto con el aire condensará al encontrar una zona a la temperatura de condensación del aire y el aislamiento perderá su efectividad pudiendo presentar peligro de corrosión la superficie aislada por efecto del vapor condensado, a temperaturas abajo de 0°C , el vapor condensará formando una capa de hielo que al tener mayor densidad puede destruir el material aislante.



Este efecto se puede reducir usando materiales que sirven como barrera contra el vapor, terminado con un material de acabado contra el intemperismo. Algunas formas de utilizar el aislamiento a bajas temperaturas es primero limpiar la superficie y que esté seca, usando corcho como aislante, terminado con una capa de asfalto seguido de cartón para techos con capas adicionales de asfalto caliente sobre el cartón, reforzado con malla metálica y sobre ella una capa de cemento a prueba de intemperismo, otra podría ser fieltro a prueba de vapor con un compuesto sellante de asfalto fibrado con una capa a prueba de intemperismo.

La superficie interna de la aislación se trata con -

una capa de asfalto caliente, lo mismo que una de sus aristas y se adhiere sobre la superficie a tratar, se asegura con flejes o bandas galvanizadas y el acabado se realiza con una capa de revestimiento bituminoso, quedando una superficie lisa que recibe a la barrera de vapor.

De acuerdo al grado de enfriamiento se usará una o más capas de aislante adicional a la primera capa, entonces, antes de la capa de revestimiento, todas las juntas de la primera capa se sellan, y la siguiente capa de aislante tratada con asfalto caliente se translapa a las juntas de la capa anterior y se fleja, después se recubre para obtener la superficie lisa y por último se adiciona la barrera de vapor.

En una cámara de refrigeración el cual es un recinto cerrado donde se almacenan y conservan sustancias y géneros, el calor que contienen estos como el que entra a la cámara se elimina por medio de la refrigeración, el calor se mueve siempre hacia donde hay menor temperatura, y una sustancia que se ha enfriado puede volver a absorber calor y una construcción siempre es permeable a una cierta cantidad de calor procedente del exterior, es necesario eliminar el calor que entra por medio de la refrigeración, esta operación resulta costosa, por lo que se reduce la entrada de calor usando un aislamiento efectivo con materiales adecuados, de esto dependerá la cantidad de calor que pueda filtrarse en un tiempo dado, si se usa un aislante deficiente se tendría en la cámara una temperatura no uniforme, en el centro sería menor y cerca de las paredes mayor, el aire caliente que se filtra y es enfriado a una temperatura más baja que la de condensación deposita su humedad en el revestimiento, elevando su conductividad térmica, el aire inmóvil cercano al techo al enfriarse en este ambiente tiende a desplazarse hacia el piso creando una presión de aire negativa en la cámara y una presión positiva

en el fondo por lo que se forma una corriente de aire infiltrado en la parte superior del ambiente para neutrealizar la presión -- negativa que se provoca en ese sitio, desplázandose hacia abajo -- el aire frío por acción de la presión positiva, la cantidad de -- aire infiltrado esta en relación a la velocidad del viento y es -- mayor en el sitio orientado hacia donde se desplaza el viento, si entra aire a través de la aislación se depositará humedad sobre -- el revestimiento aislante mucho antes de que llegue al punto de -- congelación, las variaciones de temperatura a ambos lados de la -- aislación provocan la variación del punto de congelación, lo que puede producir la desintegración del material aislante, se debe -- disponer de materiales aislantes que no se deformen, asienten o -- descomponen y que conserven sus propiedades aislantes a través -- del tiempo para evitar la posibilidad de reparaciones y escape de juntas no herméticas.

En forma general se usan bloques anchos y angostos, primeramente la superficie se nivela con una capa de cemento po-- rtland, después una barrera de vapor, aislante con asfalto calie-- nte fijado con clavos de madera, si la altura de la pared es ma-- yor de tres metros se usan tiras de madera a la mitad de la pa-- red para soportar el aislante, en el techo se ponen maderos para soportar el aislante con una separación similar a el ancho del -- aislante, en el piso se usan aislantes que no resisten altas com-- presiones, si hay necesidad de aplicar más de una capa, las ca-- pas adicionales van traslapadas o escalonadas a la junta ante-- rior la cual va sellada y fijada con clavos de madera, estos no son necesarios en el piso, se termina con papel embreado y una ma-- lla metálica que soporta el acabado a base de cemento con dos ca-- pas de un cuarto de pulgada cada una y terminado con azulejo.

A bajas temperaturas se utilizan como aislantes a la lana mineral sin aglutinante, fibra de vidrio con y sin aglutina--

nte, asbesto corrugado, mezcla de carlita y fibra de asbesto aglutinada con silicato de calcio, carbonato de magnesia 85%, tierra diatomacea con fibra de asbesto, cementos aislantes, lana mineral aglutinada, refractarios aislantes y refractarios.

Los materiales tienen la forma de medias cañas, bloques o mantas y laminas, los materiales preformados pueden ser a base de fibra de vidrio aglutinado con resina fenólica, asbesto corrugado, mezcla de carlita y fibra de asbesto aglutinada con silicato de calcio.

Las medias cañas se usan para aislar tubería, siguiendo la forma del ducto y sujetadas con flejes galvanizados, si la media caña trae una cubierta de manta, esta se fija con adhesivo y después se fleja el aislante, las irregularidades producen claros donde las juntas se empujan se rellenan con un material plástico aislante, de acuerdo a la temperatura para la cual se usa se ponen más capas del aislante escalonando las juntas, si las tuberías se encuentran expuestas a la intemperie, llevan un acabado a base de cartón para techos, forro de acero galvanizado o aluminio, si se encuentran en el interior el acabado es a base de una camisa de lana la cual se pega sobre la cubierta del tubo, cuando la tubería tiene más de diez pulgadas de diámetro se utiliza para aislarlo bloques o planos curvados en segmentos sujetos con alambres aplicando sobre ellas una capa fina de cemento de amianto para presentar una superficie lisa.

Para aislar válvulas y accesorios con tamaño mayor a 3.5 pulgadas se usan bloques del material aislante con un espesor de 0.5 pulgadas menor al utilizado en la tubería recubriéndola con cemento de amianto de acabado duro, si el tamaño de los accesorios es menor a 3.5 pulgadas se aplican capas sucesivas con espesor de un cuarto de pulgada de cemento de amianto de acabado duro, hasta igualar el espesor de la tubería adyacente con un ter

minado duro y liso.

Las bridas se aíslan de dos maneras, cuando ha de ser permanente se colocan bloques adecuados alrededor de la brida bastante largos para sobresalir 2 pulgadas a la aislación de la tubería, utilizando un acabado a base de cemento de amianto, y si la brida es removible se usan bloques o secciones que forman una cubierta dividida con el ancho para rodear la brida y sobresalir las dos pulgadas, las secciones se aseguran con alambre y la unión entre los aislantes se sella con cemento de amianto aplicando una capa de revestimiento, si esta hecho a base de bloques se asegura con malla de alambre, las juntas y espacio anular se sellan con cemento de amianto, recubriendo con una de cemento y dándole tratamiento contra la intemperie si es necesario.

La cinta aislante se usa cuando no se puede aplicar el aislante como secciones preformadas, se envuelve en espiral y se asegura con abrazaderas de alambre, poniendo una capa de acabado y revestimiento contra la intemperie.

Las mantas se encuentran constituidas por el material aislante cubiertas sus dos caras o una sola con malla de alambre o listón de metal, lo que le da la flexibilidad necesaria para acomodarse a formas irregulares y permite ser una base de acabado del aislamiento, se usa para revestir áreas de gran tamaño de superficie por su facilidad de aplicación, las mantas se fijan con alambre y sobre la manta se aplica directamente el plástico aislante y después el acabado contra la intemperie. Este tipo de aislante se usa para revestir hornos, equipos para refinar aceite, calderas y conductos de aire caliente.

Los bloques se usan también para aislar grandes superficies planas o curvadas, el material empleado para fabricarlos es el mismo que el utilizado en las medias cañas para tubería, de hecho este es un material preformado, se usa según los requerime-

ntos técnicos, temperaturas, que resistan tensión o compresión y vibración, el bloque se instala recubierto con malla de alambre, asegurandola con cemento adhesivo a la superficie o con espiras de alambre que rodeen la aislación, cuando algún medio mecánico para sostener los bloques no se puede usar y la temperatura de operación no excede los 500°F, se puede utilizar unicamente cemento aislante como medio de fijación, o bién cuando se trata de un recipiente o equipo de gran tamaño se sueldán ángulos con 0.5 pulgadas de espesor menor a la del aislante y en la parte superior e inferior tuercas y pernos para sujetar los flejes que van a sostener el aislamiento con espacios entre centros de 8 a 12 pies, el bloque aislante termina en ambos extremos del ángulo y el espacio que queda se llena con con lana mineral suelta adaptando una junta de expansión, esta se cubre con tela de hierro galvanizado y malla metálica, recibiendo un acabado de cemento aislante que la hace hermética a el intemperismo, la malla metálica que cubre los bloques recibe un acabado a base de una combinación de gránulos de lana mineral, fibras de asbesto, arcilla y materiales inhibidores de la corrosión. Si el equipo se encuentra expuesto a la intemperie se pone una segunda malla recubierta de un acabado contra la intemperie.

Las láminas de chapa de aluminio se hacen a base de las mismas láminas lisas con espesor de 0.0003 pulgadas separadas por cintas de amianto, los paneles consisten en una envoltura reticulada de tiras de metal soldado a esta envoltura y relleno de láminas de aluminio acanalado, estas se aplican para altas temperaturas hasta de 1000°F, si se usan a bajas temperaturas se protegen contra el aire, humedad y corrosión, otros tipos de láminas son a base de papel de amianto se usan para aislar tuberías en los hornos, protección contra el fuego y de superficies inflamables, la lámina de cartón doble de amianto que además de los anteriores usos sirve como protección contra emanaciones de -----

ácidos y cubiertas incombustibles de pisos y tabiques, se usa a una temperatura generalmente de 400°F, aunque pueda resistir hasta 1300°F.

El cartón doble de fieltro de amianto se usa cuando hay muchas vibraciones o tensiones debidas a dilatación y contracción, por ejemplo en un aislamiento de tubos de caldera, se usa a temperaturas de 500° hasta 900°F. Una forma combinada a base de papel de amianto simple y combinado en forma alternada y cementadas entre sí se usa a 300°F, en calderas a baja presión, cámaras secadoras y conductos de aire caliente, hornos secadores, hornos para barnizar, cuando a la lámina se le da un tratamiento de vitrificación, puede resistir temperaturas un poco más elevadas y usarse a 700°F, en tubos y chimeneas de calderas de acero.

Otra lámina consiste en capas de papel fieltro de pelo con un cuarto de pulgada de espesor forradas con papel kraft recubiertas de papel de amianto y una cubierta de gasa de muselina con una cubierta refractaria que le ayuda a soportar temperaturas de 500°F.

Los rellenos se utilizan donde quedan huecos y la forma sólida del aislante no se puede usar, son de dos tipos, en polvo o granulado que se puede verter, y fibras flojas que se acomodan con la mano, de acuerdo a la primera forma se usa sílice de diatomeas al natural para temperaturas hasta 1600°F, calcinada para 2000°F, sirve de capa intermedia entre revestimientos refractarios, para recubrir techos de hornos, hogares de calderas y estufas humedeciendo el polvo y apisonando, para evitar su desintegración se usa una mezcla de cal o cemento como corteza superficial, en esta forma también se usa lana de roca y mezclas de sílice de diatomeas en polvo, como fibras se usan lana de roca o vidrio a temperaturas máximas de 1000°F, y tienen la ventaja de no asentarse y no separarse por rajaduras, fibra de amianto --

suelta y mezclada con vermiculita expandida, para bajas temperaturas se usa el corcho molido, la lana de roca suelta impregnada con asfalto y la lana de roca tratada con aglomerante bituminoso.

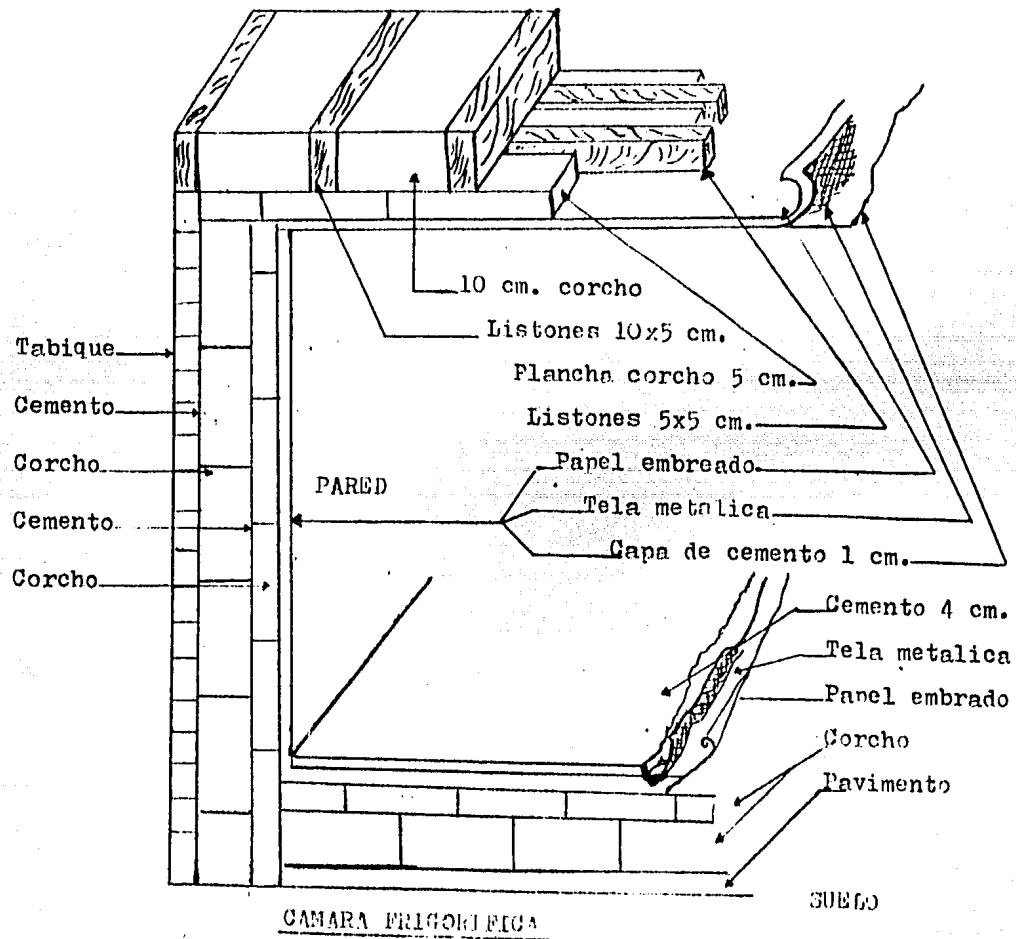
Los cementos aislantes se usan mezclados con agua -- como acabado de aislamiento o para revestir superficies irregulares donde no se puede usar la forma común de aislamiento, en forma general se encuentran constituidos de un material aislante -- mezclado con un aglomerante en polvo, el cemento de magnesia al 65% se usa para temperaturas hasta de 600° F, como acabado o para aislar superficies grandes, el cemento de amianto se usa como acabado produciendo una superficie dura y lisa, y en forma porosa para tapar juntas y aislar superficies irregulares, se usan a una temperatura máxima de 1000° F, estan constituidos en forma de fibra, los cementos de lana de roca y vidrio se usan como cemento monolitico para aislar superficies en lugar de usar otros aislantes, puede resistir temperaturas máximas de 1200° a 1500° F, a 1200° F, se puede quitar la capa y volver a tratar la superficie -- si no excede de esa temperatura las condiciones de operación, el cemento de vermiculita expandida se usa como cemento monolitico -- para aislamiento de superficies, resiste una temperatura máxima de 1800° F, se puede aplicar en dos capas si la primera capa no se ha utilizado arriba de 1500° F, el cemento de sílice de diatomeas es una mezcla de la misma sílice con fibra de amianto, en forma general se usa para rellenar grietas de aislamientos se usa como máximo a una temperatura de 1600° F, o con sílice calcinada a 1900° F, los cementos a prueba de intemperie son una mezcla de fibra de amianto y asfalto, se usan para recubrir aislamientos a la intemperie a 400° F, máximo, se aplican con un espesor de un cuarto de pulgada sobre una capa de cemento aislante.

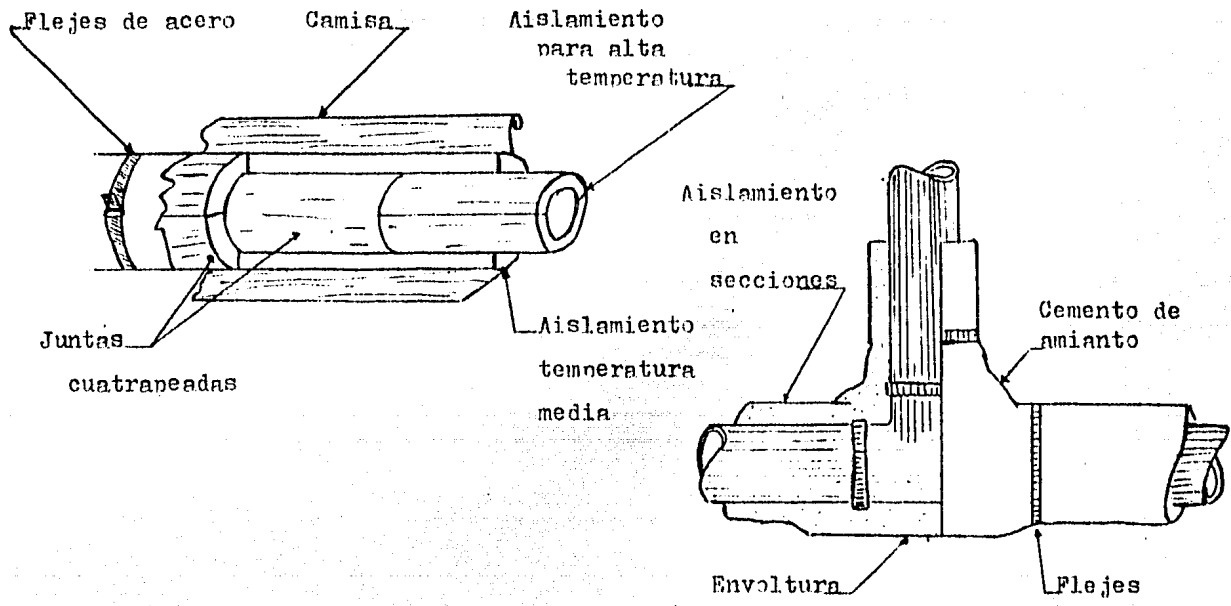
El concreto aislante consiste en una mezcla de sílice de diatomeas y bastante agua para conseguir una masa plástica, tiene una conductividad menor en 1/3 que el ladrillo refractario de arcilla y resiste máximo 1800° F, se aplica sobre superficies --

de acero, hornos de esmaltar y equipos sometidos a temperaturas relativamente bajas.

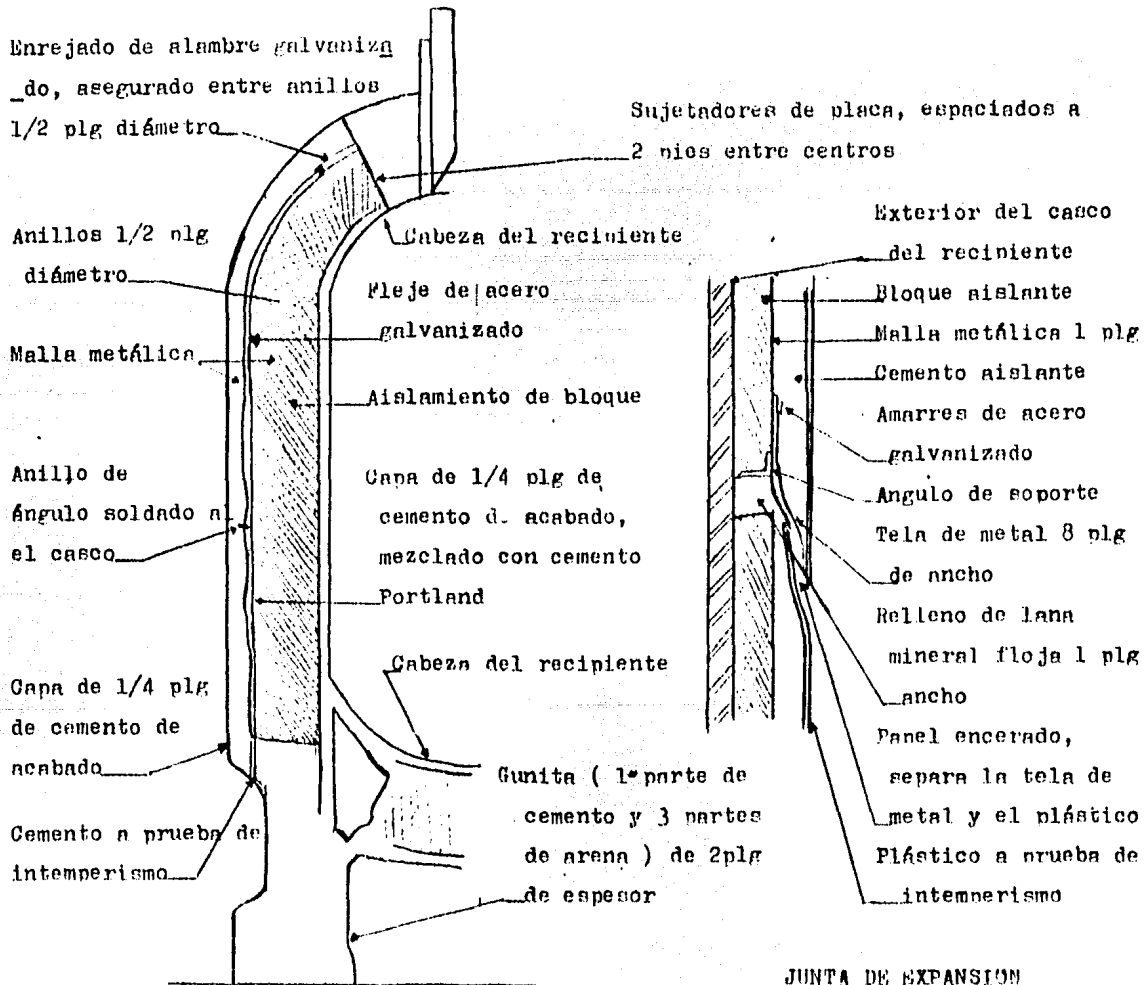
El ladrillo refractario aislante resiste las temperaturas más elevadas, si se usa como aislante requiere de una protección de un revestimiento de ladrillo refractario, o se usa en una combinación de aislante y refractario, donde los ladrillos no están sujetos a la acción de la escoria o abrasión mecánica, permitiendo el uso de paredes más delgadas con menor capacidad de absorción de calor, disminuyendo el tiempo de calentamiento al enfriar los hornos.

El ladrillo refractario se usa para condiciones de operación a temperaturas muy elevadas y exposición directa a las condiciones drásticas en hornos, reactores y otros equipos industriales, un muro típico de horno requiere de una combinación de hiladas longitudinales y transversales, en forma alternada logrando mayor estabilidad estructural, la fase compleja es la construcción de aberturas en los muros y arcos suspendidos; las anchuras de las puertas se mantienen lo más pequeñas posibles, los arcos suspendidos consisten en unidades refractarias especiales para recibir soportes metálicos que se fijan en una armadura superior de acero.



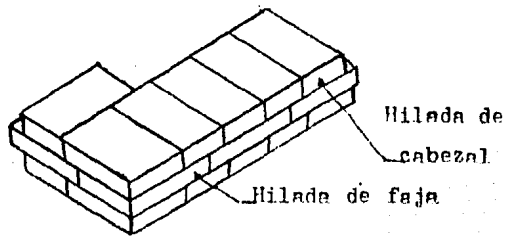


AISLAMIENTO EN TUBERIAS Y ACCESORIOS

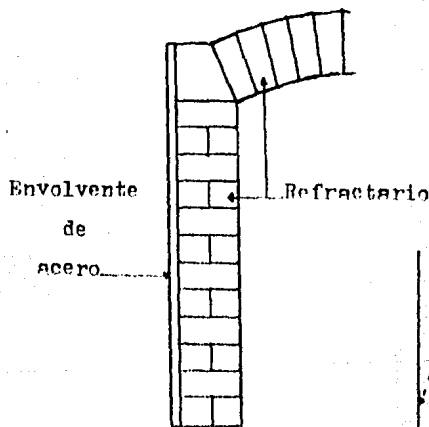


AISLAMIENTO EN RECIPIENTES

JUNTA DE EXPANSION



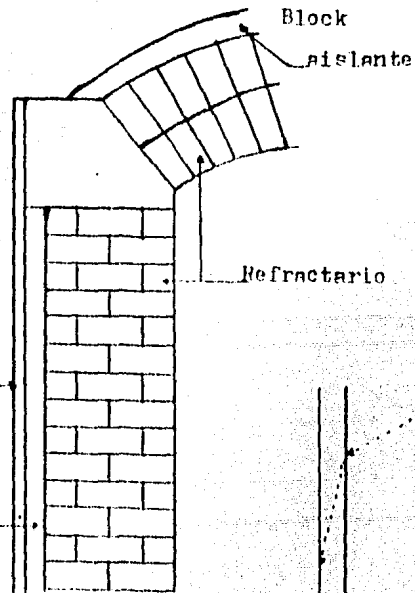
Métodos de colocar los ladrillos



Envolvente de acero

Block aislante

Gradiente de temperatura



Gradiente de temperatura

REFRACTARIOS - FORMAS DE CONSTRUCCION

CONCLUSIONES

La razón de elaborar este trabajo es el de dar a conocer en términos generales los procesos de fabricación de aislamientos térmicos, pretendiendo orientar a quien se interese en el tema, y --- para esto proporcionar la información adecuada.

Actualmente la literatura que trata de aislamientos térmicos lo hace de acuerdo a diversos puntos de vista, ya sea en construcción, refrigeración, transferencia de calor, etcétera, --- pero no como tema principal, siendo este muy extenso, por lo mismo se ha tratado de darle al presente trabajo un orden adecuado, de manera que la información compilada sea útil a quien la consulte.

De acuerdo al desarrollo del tema se puede concluir lo siguiente:

- 1.- La importancia de conocer los procesos de fabricación de aislantes radica en el hecho de obtener productos de calidad, se logra esto tomando en cuenta los cambios que ocurren en cada una de las etapas de formación del producto y --- las consecuencias de variar condiciones en el proceso, al mismo tiempo el conocer un proceso permite resolver los posibles problemas que se presenten.
- 11.- El contar con literatura adecuada nos ayuda a --- desarrollar un sentido crítico para resolver --- problemas que se involucren en un sistema de --- fabricación-consumo de energía.

III.- De acuerdo con el crecimiento industrial y la necesidad de utilizar la menor cantidad posible de combustible en los procesos de fabricación, aprovechando al máximo su eficiencia y obteniendo al mismo tiempo buenos rendimientos en el proceso, por lo que existe la necesidad de contar con los materiales aislantes usados como medio para obtener la eficiencia óptima en el uso de energía térmica.

IV .- De esta manera la necesidad fundamental que genera la formación y aplicación de un aislante se traduce en una interrelación calor-combustible-economía, es decir el aprovechamiento efectivo del calor genera un ahorro en el combustible de un proceso industrial y por lo tanto la obtención de los productos elaborados será económico o rentable.

BIBLIOGRAFIA

- 1 .- Boyen John L.
Thermal Energy Recovery
Ed. Wiley 2da ed. New York
1980

- 2 .- Comite de eficiencia del Combustible del Ministerio
Britenico de Combustibles y Energía
La Utilización Eficiente de los Combustibles
Aguilar, S.A., de Ediciones, Madrid
1949

- 3 .- Consejo Interamericano de Seguridad
Manual de Prevención de Accidentes para Operaciones
Industriales
Editorial MAPFRE

- 4 .- Sabin Crocker, M.E
Piping Handbook
Mc Graw Hill Book Company, Inc.
1945

- 5 .- Crocker and King
Piping Handbook
Mc Graw Hill Book Company
1973

- 6 .- Wilfrid Francis
Los Combustibles y su Tecnología
Ediciones Urmo
1969

- 7 .- Hernandez Flores Salvador
Estudio Económico de Fabricación de Material Aislante
para Altas Temperaturas hecho a base de Fibra de Vidrio
Tesis Profesional, Facultad de Química
1966

- 8 .- Kern, Donald Q.
Procesos de Transferencia de Calor
Compañía Editorial Continental, S.A., Mexico
1981

- 9 .- Raymond E. Kirk, Donald F. Othmer
Enciclopedia de Tecnología Química (volumen 1,2,3,4,9)
Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana

- 10.- William H. Mc Adams
Transmisión de Calor
Mc Graw Hill Book Company, Inc.
1964

- 11.- James A. Moyer, Raimond U. Fittz
Refrigeración
Compañía Editorial Continental S.A.

- 12.- James E. Neal, Roger Clark
The Effective Use of Insulating Refractories
Johns - Manville Refractory Products
1975

- 13.- Norton Frederick H.
Refracterios
Mc Graw Hill Book Company, Inc.
1968

- 14.- Robert H. Perry, Cecil H. Chilton
Manual del Ingeniero Químico
Mc Graw Hill Book Company, 5a, ed.
1982

- 15.- Howard F. Rase and M. H. Barrow
Ingeniería de Proyecto para Plantas de Proceso
Compañía Editorial Continental, S.A., Mexico
1977

- 16.- Humberto Reyes M.
Espumas de Plásticos Estructurales
Editorial Diana

- 17.- William Stanier, M. B.
Plant Engineering Handbook
Mc Graw Hill Book Company
1959

- 18.- Stoever Herman Julius
Applied Heat Transmission
Mc Graw Hill. New York
1941

- 19.- Strock y Koral
Handbook of Air Conditioning Heat and Ventilating
Industrial Press Inc., New York
1968

- 20.- Angel Vian y Joaquín Ocón
Elementos de Ingeniería Química
Editorial Aguilar S.A., de Ediciones
1970

- 21.- Karl Winnecker y Ernst Weingaertner
Tecnología Química (volumen 11)
Editorial Gustavo Gili, S.A.

- 22.- L. T. Zamaro
Técnicas de las Instalaciones Frigoríficas Industriales
Ediciones Gustavo Gili S.A.