

75

24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CAMPUS
A R A G O N

"CALCULO, SELECCION Y APLICACION
DE AISLANTES TERMICOS EN LA
INDUSTRIA"

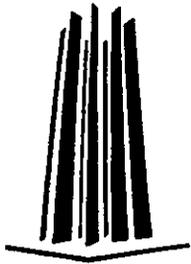
TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO

ELECTRICISTA

P R E S E N T A

JOSE ANGEL SINECIO BONILLA



ENEP ARAGON

261364

MEXICO. 1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**EN AGRADECIMIENTO A DIOS POR ACOMPAÑARME EN
TODOS LOS MOMENTOS DE MI VIDA.**

A MIS PADRES:

**QUE ME DIERON SUS DESVELOS, ESFUERZOS,
SACRIFICIOS Y ESTA GRAN OPORTUNIDAD.**

**SR. JESUS SINECIO MARTINEZ
SRA. GEORGINA BONILLA DE SINECIO**

A MI ESPOSA:

CON EL AMOR DE SIEMPRE

MARIA DE LA PAZ

A MIS HIJOS;

**QUE DESDE QUE ESTAN CON NOSOTROS SON MI MAYOR
MOTIVACION DE SALIR A DELANTE EN LA VIDA.**

**JOSE ANGEL
MARCO ARTURO
LUIS ENRIQUE**

A MIS HERMANOS:

POR SU AYUDA, PALABRAS Y COMPAÑERISMO QUE SIEMPRE ME HAN DADO.

PEDRO ABRAHAM

EMANUEL

LUZ MARIA

MUY ESPECIALMENTE A MI HERMANO **ANTONIO** QUE SIEMPRE ME HA BRINDADO SU TOTAL APOYO.

A MI PRIMO:

ING. MARCO ANTONIO OSORIO BONILLA CON ADMIRACION Y RESPETO. QUE FUE LA BASE DE ESTE TRABAJO.

DOY GRACIAS A TODAS LAS PERSONAS Y AMIGOS QUE CON SU APOYO, PACIENCIA Y FE ANTE MI, HICIERON QUE LOGRARA UNO DE MIS MAYORES PROPOSITOS.

A MI EMPRESA:

INLAND CORRUGADOS DE GUANAJUATO S.A. DE C.V. POR DARME TODAS LAS FACILIDADES EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

INDICE.

INTRODUCCION	1
--------------	---

CAPITULO 1

1.1	QUÉ SON LOS AISLANTES TÉRMICOS	3
1.2	POR QUÉ SE JUSTIFICAN	5
1.2.1.	PARA MANTENER CONDICIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL	6
1.2.2.	PARA ASEGURAR LAS CONDICIONES DE LOS PROCESOS	6
1.2.3.	PARA EL AHORRO Y LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	7
1.3.	TIPOS (CLASIFICACIÓN)	9
1.3.1.	GRANULARES	13
1.3.1.1.	SILICATO DE CALCIO	13
1.3.1.2.	PERLITA	14
1.3.1.3.	TIERRAS DIATOMÁCEAS AGLUTINADAS CON SILICATO DE SODIO	16
1.3.1.4.	VERMICULITA EXFOLIADA	16
1.3.2.	FIBROSOS	18
1.3.2.1.	FIBRA DE VIDRIO	18
1.3.2.2.	LANA MINERAL	18
1.3.2.3.	ASBESTO	19
1.3.2.4.	POLIESTIRENO	19
1.3.2.5.	VIDRIO CELULAR	20
1.3.3.	ESPUMOSOS	20

1.3.3.1.	ESPUMA DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC)	20
1.3.4.	MONOLÍTICOS	21
1.3.5.	REFLECTIVOS	22

CAPITULO 2

2.1.	TRANSFERENCIA DE CALOR	23
2.1.1.	TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA INGENIERÍA	24
2.1.2.	MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	26
2.1.2.1.	CONVECCIÓN	26
2.1.2.2.	RADIACIÓN	28
2.1.2.3.	CONDUCCIÓN	30

CAPITULO 3

3.1.	MÉTODOS DE SELECCIÓN PARA AISLAMIENTO TÉRMICO	35
3.1.1.	SELECCIÓN DEL MATERIAL ADECUADO	35
3.1.1.1.	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	36
3.1.1.2.	DENSIDAD	37
3.1.1.3.	COMPORTAMIENTO AL ABUSO MECÁNICO	37
3.1.1.4.	ESTABILIDAD DIMENSIONAL	38
3.1.1.5.	COMBUSTIBILIDAD	39
3.1.1.6.	PROPICIACIÓN DE MICROORGANISMOS	40
3.1.1.7.	CORROSIVIDAD	41
3.1.1.8.	TEMPERATURA LÍMITE DE TRABAJO	42
3.1.1.9.	FORMA DE MANEJO, ALMACENAJE Y COLOCACIÓN	43

3.1.1.10	CAPILARIDAD	45
3.2.1.	SELECCIÓN PRELIMINAR	46
3.3.1.	SISTEMAS PARA INSTALACIÓN	48
3.3.1.1.	PRELIMINARES	48
3.4.1.	INSTALACIÓN EN TUBERÍAS A ALTA TEMPERATURA	49
3.4.1.1.	EN TUBERÍA HORIZONTAL	49
3.4.1.2.	EN TUBERÍA VERTICAL	50
3.4.1.3.	VENAS DE VAPOR	51
3.5.1.	JUNTAS DE EXPANSIÓN	51
3.5.1.1.	BRIDAS	51
3.5.1.2.	ACCESORIOS	53
3.6.1.	INSTALACIÓN EN EQUIPO A ALTA TEMPERATURA	54
3.6.1.1.	SISTEMA FIJO	54
3.6.1.2.	SISTEMA SUSPENDIDO	58
3.7.1.	INSTALACIÓN A BAJA TEMPERATURA	61
3.7.2.	BARRERAS DE VAPOR	62
3.7.2.1.	DETERMINACIÓN DE UN PERM	64
3.8.1.	ACABADOS	66
3.8.1.1.	ACABADOS METÁLICOS	67
3.8.1.2.	ACABADOS NO METÁLICOS	71

CAPITULO 4

4.1.	DISEÑO ECONÓMICO DE ESPESORES	74
4.1.1.	BALANCE ECONÓMICO	74
4.1.2.	DETERMINACIÓN DE COSTOS FIJOS	76
4.1.3.	DETERMINACIÓN DE COSTOS VARIABLES	77
	CONCLUSIONES	79
	BIBLIOGRAFIA	80

INTRODUCCION

La conservación y ahorro de energía en los procesos de la industria de la transformación, es un aspecto que día con día cobra mayor importancia tanto por razones técnicas, económicas y estratégicas a nivel mundial.

En México de acuerdo a cifras de la comisión nacional de ahorro de energía, se estima que el 80 % del consumo energético proviene del petróleo como se puede apreciar en la figura No.1.

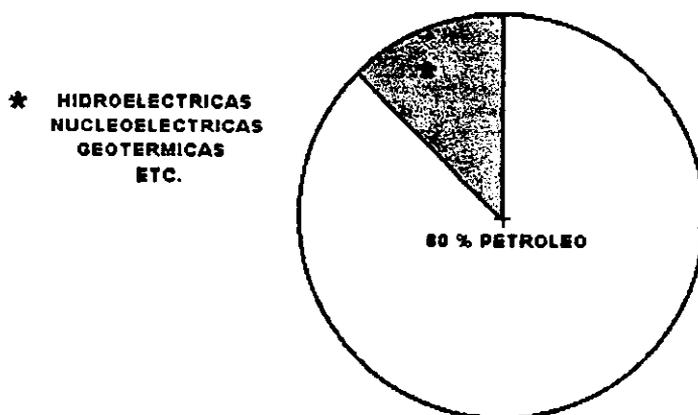


FIGURA 1

Tomando en consideración el indiscutible lugar que éste tiene como recurso no renovable en el desarrollo tecnológico de nuestro país y a la limitada disposición actual de otras fuentes

de energía, resulta innegable la importancia que representa su uso eficiente en la industria.

Entre las principales formas de energía utilizadas como medio de transformación de las materias primas se encuentra la energía térmica, la cual se manifiesta en flujos de calor debido a diferencias de temperatura entre dos cuerpos.

Por lo anterior, uno de los medios más eficaces y económicos de ahorro energético es el aislamiento térmico, cuya función consiste básicamente en evitar pérdidas de calor en sistemas o equipos que trabajan a temperaturas diferentes a la ambiente.

Sin embargo, la utilización de aislamientos térmicos, no se circunscribe solamente a aspectos de tipo económico, sino que también puede justificarse por requerimientos particulares de los procesos y de manera preponderante como medio para mantener condiciones de seguridad industrial.

La finalidad de este trabajo consiste en describir las características de los principales materiales aislantes comerciales disponibles en el mercado, así como establecer los fundamentos para su selección, su cálculo y aplicación.

CAPITULO 1.

1.1. QUE SON LOS AISLANTES TERMICOS.

En nuestros días se podrían encontrar un sin numero de conceptos que describan a los aislantes térmicos, para el caso de este trabajo se mencionan dos definiciones con diferente expresión pero con el mismo significado que nos darán un amplio margen de asimilación de este concepto.

Se define como sistema de aislamiento térmico aquel sistema diseñado especialmente para ofrecer alta resistencia a la transferencia de calor.

El disminuir el flujo de calor es también un problema típico de transferencia de calor cuyo propósito es evitar pérdidas o ganancias de energía en un sistema, a fin de garantizar una operación mas eficiente, mas económica y mas segura.

Otro concepto de aislamiento térmico se puede definir en función de la proporción con que se conoce la energía térmica en comparación de los metales.

Por ejemplo, la conducción de calor para el acero 600 veces más alta que la de un aislante térmico típico para los mismos gradientes de temperatura.

Como se puede observar en la tabla No.1

MATERIAL	K (BTU/h ft °F)	DENSIDAD(lbm/ft³)
Acero dulce	32 °F, 26.5	490
Aluminio	32 °F, 117	169
Asbesto	32 °F, 0.087	36
Lámina de corcho	68 °F, 0.025	10

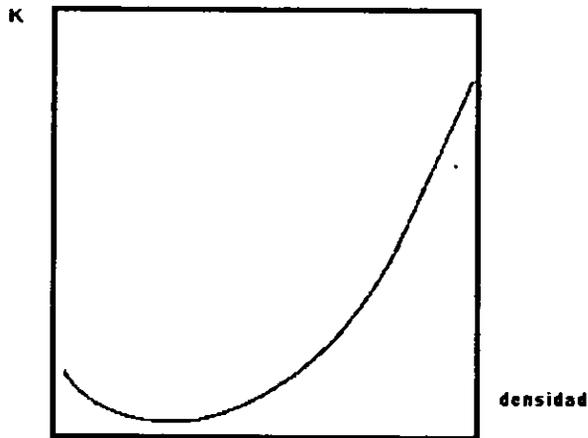
TABLA No1

Los más eficientes materiales aislantes por sus características y propiedades son materiales de muy baja conductividad térmica, existiendo una relación con su densidad.

Esto se debe a la porosidad del material y tamaño de los poros que dificultan el paso del calor a través de su misma estructura, cabe mencionar que debe tomarse en cuenta que dentro de estas cavidades aunque a muy pequeña escala los tres mecanismos de calor, considerando que si estas cavidades o espacios vacíos son muy grandes daríamos paso a un nuevo

problema, que es el generar un gran movimiento convectivo básicamente. Elevando por consecuencia la transferencia de calor a través del aislante mismo. Dándonos como resultado un mal aislante térmico.

La figura 2 nos muestra la relación que existe ante la conductividad y densidad para un buen aislante observando su punto Optimo de baja conductividad térmica.



RELACION ENTRE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA Y LA DENSIDAD EN UN MATERIAL AISLANTE

FIGURA 2

1.2. POR QUE SE JUSTIFICAN.

Como se ha mencionado existen tres razones fundamentales que justifican el uso de sistemas de aislamiento

térmico, en instalaciones industriales, el entenderlas ubicará el problema con toda su importancia, dichas razones son:

- 1.-Para mantener condiciones de seguridad industrial.**
- 2.-Para asegurar las condiciones de los procesos.**
- 3.-Para el ahorro y conservación de energía.**

1.2.1. PARA MANTENER CONDICIONES DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.

Por norma general en toda industria que se empleen cambios de presión y temperatura con equipos o sistemas de transferencia de calor con un mínimo de espesor de aislante térmico, deberá mantenerse la superficie externa de los mismos a una temperatura menor o igual de 60 °C (190 °F) para acabado metálico y 65 °C (149 °F) para acabado no metálico. Utilizando estos aislantes no solo para conservar el calor sino también y muy justificadamente para eliminar riesgos al personal.

1.2.2. PARA ASEGURAR LAS CONDICIONES DE LOS PROCESOS:

Mantener una elevada resistencia a la transferencia de calor, disminuyendo de tal manera los flujos de energía térmica

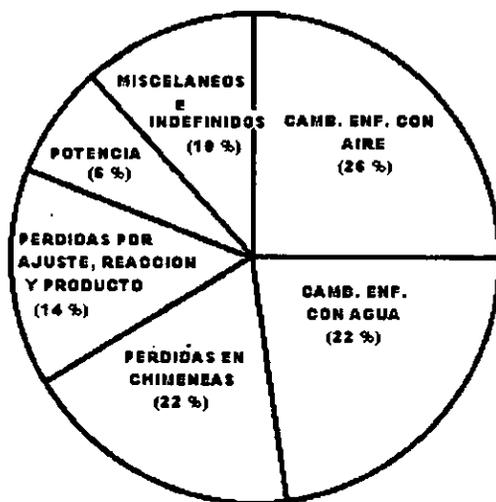
del sistema al ambiente o en caso contrario, del ambiente al sistema, asegura condiciones de proceso indiscutiblemente aceptables, evitando con ello reacciones secundarias que afecten de una u otra forma nuestro sistema. Es evidente que para éste análisis debemos apoyarnos en instrumentos y aparatos de medición confiables para reafirmar una buena condición del proceso.

1.2.3. PARA EL AHORRO Y CONSERVACION DE LA ENERGÍA.

El propósito y requerimiento primordial es aprovechar al máximo la energía térmica.

Actualmente el petróleo ya sea como energético o como materia prima para una diversidad de productos y la condicionante como principal recurso no renovable, resalta la importancia que se pueda prestar a su máximo aprovechamiento. Por ejemplo en un proceso de refinación del petróleo al analizar las perdidas de energía, es interesante notar que el 22 % se pierde sin intervenir en el proceso al escaparse con los gases producto de la combustión, 6 % de la energía se pierde por potencia, 14 % corresponde a perdidas variaciones y ajustes en las condiciones de operación de la planta entre la preparación de carga, reacción, refinación y productos y un 48 %

de calor es eliminado por dos razones importantes: la disipación de la energía a la atmósfera a través de los aislantes que cubren equipos y líneas, y calor que por su bajo nivel de temperatura no resulta económico aprovechar y por consiguiente es necesario remover. De las corrientes a través de enfriadores con agua o con aire. Existe un 10 % de perdidas en las plantas por razones muy diversas que por su magnitud es difícil definir, la figura 3 muestra los diferentes porcentajes indicados anteriormente.



**BALANCE DE COMBUSTIBLE EN
REFINERIAS**

FIGURA 3

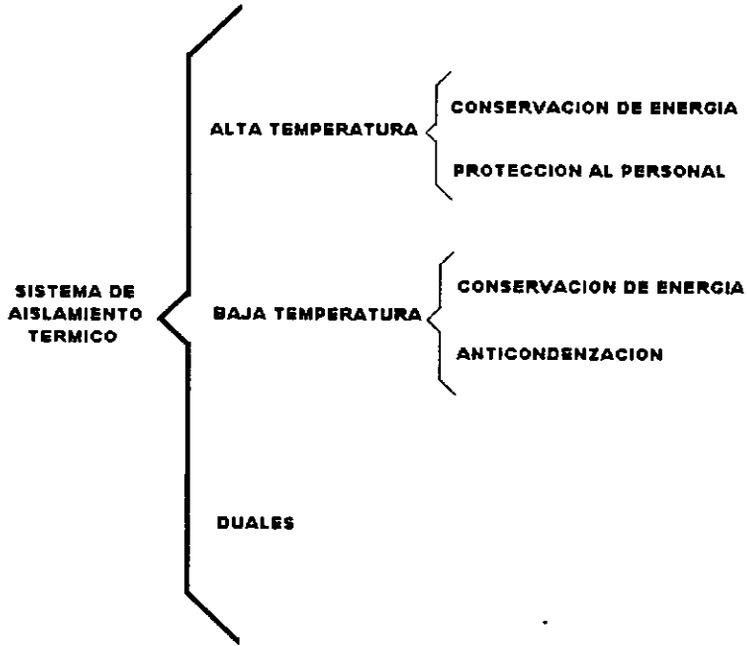
Una vez identificados los puntos en que la energía se pierde se pueden plantear las estrategias que avalan dichas pérdidas, consiguiendo con ello ahorros en energéticos, muy significativos.

Concluyendo, el porcentaje obtenido en mejorar los sistemas de aislamiento térmico requiere menor inversión que otras áreas y sus resultados son inmediatos, de modo que el ahorro de energía recupera la inversión en un plazo sorprendentemente corto.

1.3. TIPOS (CLASIFICACION)

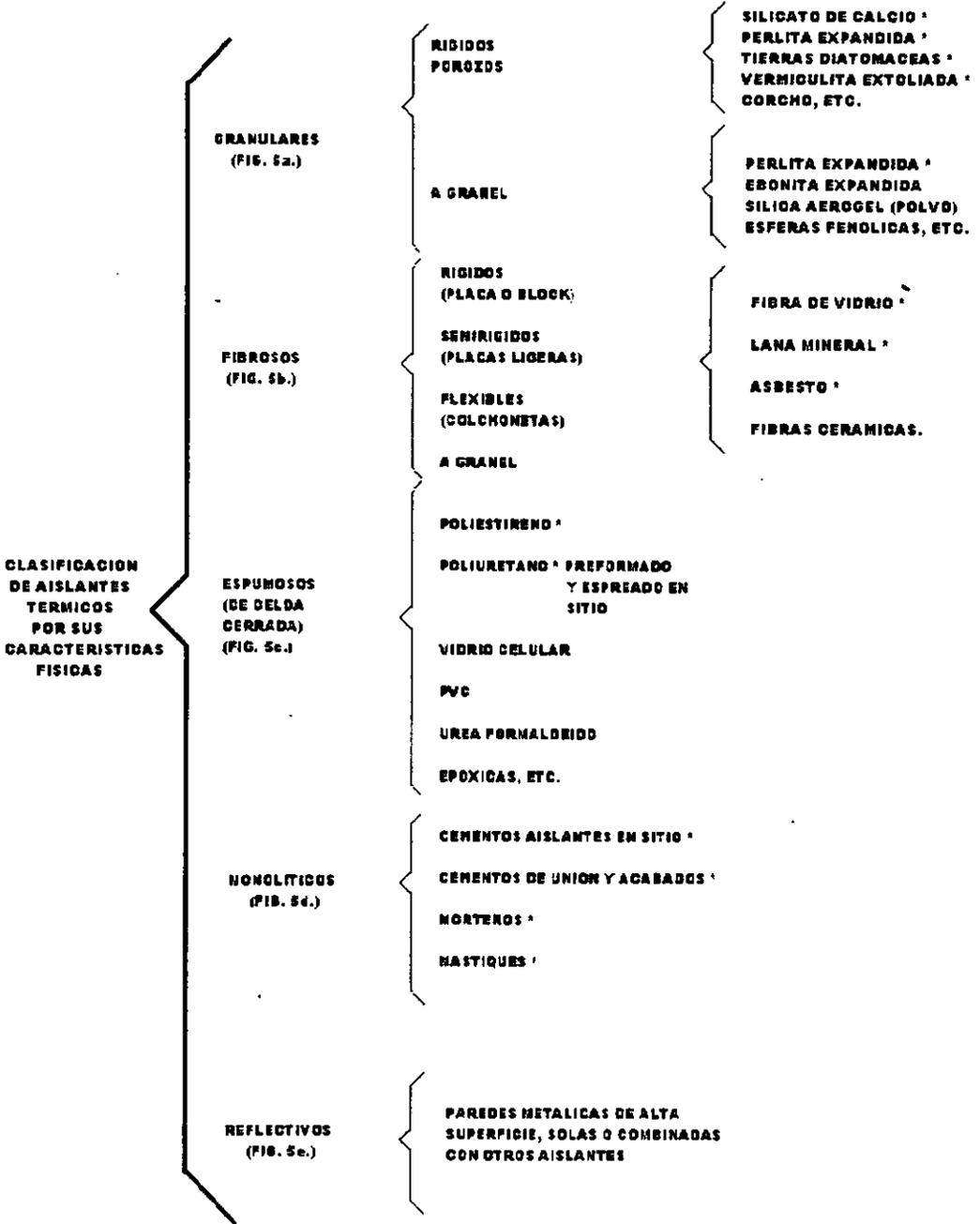
Los aislantes térmicos como un medio eficaz en el ahorro de energía, cuya función primordial es ofrecer una elevada resistencia a la transferencia de calor. Podemos describirlos por sus características, su forma de selección y recomendaciones generales.

De acuerdo con su función, los sistemas de aislamiento térmico pueden clasificarse de la siguiente manera:



De acuerdo con sus características físicas, los materiales aislantes pueden clasificarse en 5 grandes grupos como se muestra en la figura 4.

FIGURA 4

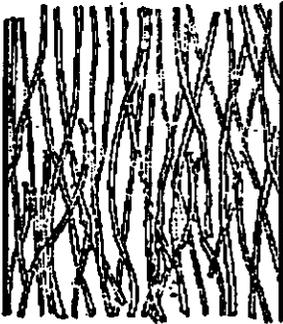


* DE FABRICACION NACIONAL

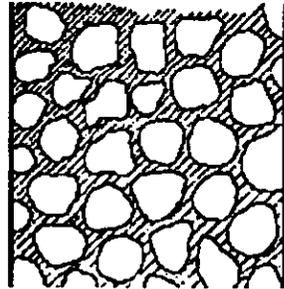
DIFERENTES TIPOS DE AISLANTES TERMICOS



a) aislantes térmicos granulares



b) aislantes térmicos fibrosos

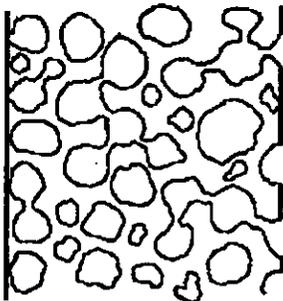


c) aislantes térmicos espumosos

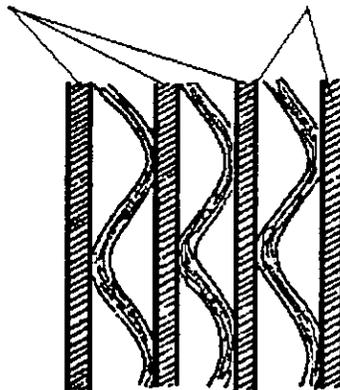
FIGURA 5

láminas tratadas para ser reflectivas

enfautado de tela de vidrio



d) aislantes térmicos monolíticos



e) aislantes térmicos reflectivos

DIFERENTES TIPOS DE AISLANTES TERMICOS

1.3.1. GRANULARES.

Son materiales aislantes constituidos básicamente de granos o partículas porosas que pueden usarse a granel o aglutinarse y preformarse en piezas rígidas; a continuación se mencionan las características y propiedades de algunos de ellos.

1.3.1.1. SILICATO DE CALCIO.

Es uno de los más antiguos materiales aislantes que en combinación con fibras minerales tiene magníficas propiedades mecánicas y aislantes, generalmente contiene hasta 15% de fibra (usualmente libre de asbesto) con tierra diatomácea o algún material de relleno y resistencia similar. tiene buena resistencia a la compresión y es usado tanto en forma rígida como plástica y es adecuada para usarse en un rango de temperatura 200 hasta 1000 °C.

PROPIEDADES FÍSICAS

Color: blanco.

Temperatura máxima de operación: (1000°C).

Densidad media: 14 lb/ft³ = (224 kg/m³).

Modulo de compresión (5% de deformación): 70 lb/plg² = (4.9 kg/cm²).

% de encogimiento lineal: 1202°f (650 °C) en 24h 1.8 - 2%.

Perdida de peso: @1202°f (650 °C) en 24h 8%.

Modulo de ruptura 42 lb/plg² (2.95 kg/cm²).

Combustibilidad: no arde ni conduce flama.

Capilaridad: siendo un material poroso de celdas abiertas es capaz de absorber agua rápidamente hasta 300% en peso recuperando sus propiedades al secarse.

Solubilidad: básicamente insoluble (con excepción de porcentajes mínimos de otros silicatos como impurezas de sodio).

Corrosividad: tiene bajo contenido de cloruros por lo que no ataca al acero inoxidable austenítico.

1.3.1.2. PERLITA.

La perlita es un “polvo” de origen volcánico constituido de sílica natural de estructura concéntrica que cuando se somete a

calentamiento controlado se expande adquiriendo magnificas propiedades aislantes, que puede aplicarse tanto a bajas como a altas temperaturas. Puede utilizarse en placas y preformados rígidos; para lo cual la perlita expandida se mezcla con varias substancias como caolín, silicón y silicato de sodio entre otros y con fibra de nylon de refuerzo y un colorante rosado que lo identifica como “libre de asbesto” o bien a granel en el que las partículas o polvos porosos pueden usarse en servicios encaquetados a vacío obteniendo factores de conductividad térmica de

0.01 BTU - plg/h - ft² °F

Y menores, respecto a valores de un buen aislante. Por supuesto estos sistemas especiales sólo se justifican en servicios criogénicos, en sistemas refrigerados se pueden usar a presión atmosférica o ligeramente superior, y sello de barrera de vapor.

PROPIEDADES FÍSICAS.

Densidad media (a granel): 5 lb/ft³ (80 kg/m³).

Modulo de compresión 5% deformación: 90 lb/plg² (6.12 kg/cm²).

% encogimiento lineal a 1200 °f - 24h (648 °C): 0.7%.

Incombustible: no arde ni conduce flama.

Capilaridad (sumergido 24h): 2.7%.

Solubilidad: menos de 100 ppm de cloruros por lo que no ataca al acero inoxidable austenítico; no contiene cal por lo que no ataca al aluminio.

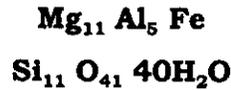
1.3.1.3. TIERRAS DIATOMÁCEAS AGLUTINADAS CON SILICATO DE SODIO.

Como aislante tiene las mismas ventajas de solubilidad del silicato de sodio en agua; como cemento aislante o refractario aislante, se prepara formulado con un aglutinante resistente al calor y agua, proporcionando una pasta que puede en temperaturas hasta de 982° C.

1.3.1.4. VERMICULITA EXFOLIADA.

Es también un material de origen volcánico constituido básicamente de grandes cadenas hidratadas de silicio, magnesio aluminio y fierro. su principal diferencia con las micas y cloritas es que las moléculas hidratadas se localizan en sus celdas

intermedias dando estructuras vítreas de composición aproximada a:



El proceso de exfoliación que le confiere sus propiedades aislantes, es un proceso térmico que expande las moléculas hidratadas tomando pequeños "libros" que permiten la inclusión del aire. La vermiculita exfoliada debe mezclarse con algún aglutinante como el silicato de sodio y moldear los preformados rígidos, o bien ser ingrediente principal de los elementos aislantes.

PROPIEDADES FISICAS.

Temperatura máxima de operación: 982 °C

Modulo de compresión al 5% de deformación: 3.9 kg/cm².

% encogimiento lineal a 982 °C 24h: 3%.

Cambio de volumen al secar: 20%.

1.3.2. FIBROSOS.

Estos materiales son los más versátiles ya que en ellos se pueden fabricar como rígidos, semi rígidos, y flexibles, su principal limitante es la temperatura a la que los aglutinantes se queman (generalmente resinas fenencias).

1.3.2.1. FIBRA DE VIDRIO.

La fibra de vidrio se obtiene a partir de la combinación de mas de 10 diferentes tipos de arena, que se funden en un horno y posteriormente se fabrican, consiguiendo fibras de diámetro controlado muy largas y flexibles, (1 a 15 micrones de diámetro) que después se pueden aglutinar con resinas y obtener placas rígidas, semi rígidas y colchonetas flexibles con diferentes armados; también puede obtenerse a granel.

1.3.2.2. LANA MINERAL.

Puede obtenerse a partir de escoria metálica o bien de rocas basálticas fundidas y fibrizadas en forma similar a la fibra de vidrio; la fibra de lana mineral es mas corta y menos flexible que la fibra de vidrio y por consiguiente su homogeneidad en el aislante es menor, principalmente la que se obtiene de la escoria

metálica. la presentación es similar a la fibra de vidrio, el producto es mas denso, puede alcanzar temperaturas mas elevadas en algunas de sus presentaciones y produce menos molestias que la fibra de vidrio, dentro de sus componentes lleva aceite y resinas.

1.3.2.3. ASBESTO.

Se conoce como asbesto a cualquier fibra de origen mineral. generalmente esta constituida por silicato de magnesio hidratado de alta resistividad térmica y eléctrica; dependiendo del tamaño de la fibra se le conoce como amosite, fibra larga y flexible, amianto o asbesto, este ultimo de fibras cortas y rígidas. a fin de elaborar preformados para tubería o placas rígidas se aglomera con tierra diatomacea. actualmente ha caído en desuso por considerarse una substancia cancerígena.

Su uso esta restringido a sistemas a bajas temperaturas o en sistemas duales en que no hay riesgo de incendio.

1.3.2.4. POLIESTIRENO.

Este material puede ser espumado o expandido y aglutinado en placas o preformados rígidos. Tiene los mismos

inconvenientes de ser un plástico condensable aunque también puede ser tratado para ser catalogado como auto extinguable.

1.3.2.5. VIDRIO CELULAR.

También conocido como vidrio espumado, constituido por millones de celdas herméticas de vidrio puro de alta durabilidad, procesado por fusión de compuestos de silicio y magnesio y espumación con aire u otro gas, que le da forma de una masa de celulosa homogénea y rígida, que puede trabajar a altas y bajas temperaturas o en sistemas duales sin detrimento de sus propiedades térmicas y mecánicas.

1.3.3. ESPUMOSOS.

1.3.3.1. ESPUMA DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC).

El PVC puede ser espumado al igual que los otros plásticos obteniendo un material rígido de celda cerrada excelente para servicios a baja temperatura, su principal ventaja puede ser que debido al cloro es de difícil combustión, sin embargo se debe tener en cuenta que a temperaturas muy bajas se hace quebradizo y a temperaturas elevadas se descompone formando

vapores de ácido clorhídrico, cuando un kilogramo de PVC se quema, 566 gramos de ácido clorhídrico se forma en forma de gas (286 lts).

La descomposición térmica del PVC se ve incrementada gradualmente en la presencia de oxígeno, cloruros de cobre, cobalto fierro, o de aire en exceso. a fin de reducir su descomposición actualmente se le adicionan algunas sustancias como el dioctilftalato o tricrecifosfato como estabilizadores.

Este material no se fabrica en México.

1.3.4. MONOLITICOS:

Es importante separar los cementos aislantes hechos a base de otro aislante que son complementos o auxiliares de estados y los cementos aislantes y morteros aplicables a altas temperaturas cuya densidad es superior y se tratan ampliamente en la sección de refractarios. Existen cementos aislantes hechos a base de silicato de calcio, lana mineral, de perlita, etc. y que en si mismos se usan como aislantes aplicables en superficies irregulares, o bien como material de junteo y para dar uniformidad en el espesor de las colchonetas

aislantes en las zonas de “cintura” por flejes o alambres de sujeción.

1.3.5. REFLECTIVOS:

Son aislantes constituidos por laminas metálicas pulidas y tratadas para conservar su alta reflectividad, de diseños especiales que le dan características de flexibilidad y de estructura que permiten absorber expansiones y contracciones por temperatura. el material separador entre las laminas puede ser madera, fibra de vidrio, fibra nylon o poliestireno, etc.

Las conductividades térmicas pueden tener valores del orden de $1/10$ a $1/30$ respecto a conductividades de los polvos aislantes a vacío en igualdad de condiciones (servicios criogénicos), razón por la cual se les denomina superaislantes.

CAPITULO 2

2.1. TRANSFERENCIA DE CALOR.

La energía de un objeto a otro forma parte de sus características mas útiles. así como, el calor que es una forma de energía.

Siempre que existe un gradiente de temperatura o cuando se ponen en contacto dos sistemas a diferentes temperaturas, se transfiere energía.

El proceso por el cual tiene lugar el transporte de energía, se conoce como transferencia de calor.

Lo que esta en transito, llamado calor, no puede ser medido u observado directamente, pero los efectos que produce son posibles de observar y medir.

El flujo de calor, como la ejecución del trabajo, es un proceso por medio del cual se cambia la energía interna de un sistema.

2.1.1. TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA INGENIERÍA.

Desde el punto de vista de ingeniería, la determinación de la rapidez de transferencia de calor a una diferencia de temperatura ya especificada constituye el problema principal.

Con el objeto de estimar el costo, la factibilidad y el tamaño del equipo necesario para transferir una cantidad especificada de calor en un tiempo dado, debe analizarse un detallado proceso de la transferencia de calor. Las dimensiones de calderas, calentadores, refrigeradores y cambiadores de calor, dependen no únicamente de la cantidad de calor que deba ser transmitida, sino también, de la rapidez con que deba transferirse el calor bajo condiciones dadas, la operación apropiada de los componentes del equipo, tales como los alabes de las turbinas o las paredes de las cámaras de combustión, dependen de la posibilidad de enfriamiento de ciertas partes metálicas, retirando el calor de la superficie en forma continua y a gran rapidez.

En la transferencia de calor, como en otras ramas de ingeniería, la solución adecuada de un problema requiere hipótesis e idealizaciones, es casi imposible

descubrir los fenómenos físicos en forma exacta, y para expresar un problema en forma de una ecuación que pueda resolverse, es necesario hacer algunas aproximaciones.

Es importante retener en la mente las hipótesis, idealizaciones y aproximaciones echas en el curso de un análisis, cuando son interpretados los resultados finales.

Algunas veces al resolver un problema, la insuficiente información o las propiedades físicas, hacen necesario usar las aproximaciones de ingeniería.

Cuando se considera necesario formular una hipótesis o una aproximación de la solución de un problema, el ingeniero debe confiar en su habilidad y en su experiencia. no existen guías simples para problemas nuevos y desconocidos, una hipótesis valida para un problema puede dar resultados equivocados en otro. sin embargo, la experiencia ha demostrado que el primero y principal requisito para formular hipótesis o aproximaciones correctas en ingeniería, es un completo y amplio conocimiento del fenómeno físico involucrado en el problema dado. esto requiere en el campo de la transferencia de calor, no únicamente estar

familiarizado con las leyes y mecanismos físicos de flujo de calor, sino también con las de mecánica de fluidos, física y matemáticas.

2.1.2. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

La energía térmica se transferirá siempre que exista una diferencia de nivel energético, es decir, cualquier diferencia de temperatura será suficiente para generar un flujo de calor del medio de mayor a menor temperatura, siendo el flujo variable dependiendo del medio por el que se transfiere. los mecanismos de transferencia que se describen a continuación permitirán explicar este fenómeno de transporte de energía.

2.1.2.1. CONVECCIÓN.

La primera forma básica que se estudiada es la transferencia de calor por convección la cual involucra el intercambio de energía entre el fluido y una superficie o interface. como se menciono anteriormente en todos los

casos de transferencia de calor convectiva, el intercambio de energía ocurre entre una superficie y un fluido adyacente.

El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido mezclándose con él. la convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica.

Pero cuando el fluido se agita mecánicamente, el calor se transfiere por convección forzada. la agitación mecánica puede aplicarse por medio de un agitador, aun cuando en muchas aplicaciones de proceso se induce circulando los fluidos calientes y fríos a velocidades considerables en lados opuestos de tubos.

Las convecciones libre y forzada ocurren a diferentes velocidades, la última es la más rápida y por lo tanto, la más común.

En 1701 Sir Isaac Newton expresó por primera vez la ecuación básica de la relación para la transferencia convectiva del calor. esta expresión muy sencilla, conocida como la ecuación de la razón o "ley" de enfriamiento de Newton es:

$$q = hA (T_{\text{superf}} - T_{\text{fluido}})$$

En donde q es la relación de transferencia convectiva del calor en BTU/hr, A es el área nominal a la dirección del flujo de calor en ft^2 , $T_{\text{superf}} - T_{\text{fluido}}$ es la fuerza motriz de la temperatura en $^{\circ}\text{F}$ y h es el coeficiente convectivo de transferencia de calor en $\text{BTU/hr ft}^2 ^{\circ}\text{F}$.

2.1.2.2. RADIACION.

La transferencia de calor por radiación es solamente uno de los numerosos fenómenos electromagnéticos. el termino "radiación" se aplica generalmente a todas las clases de procesos que transmiten energía por medio de ondas electromagnéticas. la gama completa de tales ondas esta subdividida. en clases de acuerdo con la longitud de onda o la frecuencia y también de acuerdo con la aplicación.

Hasta la fecha no ha sido completamente establecida la verdadera naturaleza de la radiación y su mecanismo de transporte. algunos fenómenos de radiación pueden describirse en términos de la teoría ondulatoria y otros en términos de la teoría cuántica,

pero ninguna teoría explica completamente todas las observaciones experimentales.

Es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a un cuerpo de baja temperatura, cuando estos están separados por un espacio que incluso puede ser el vacío.

La energía transmitida en esta forma recibe el nombre de calor radiante.

La ley de Sstefan-Boltzman establece que la radiación total, de todas las longitudes de ondas, procede de un radiador perfecto o cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta t , llamando e a la densidad superficial de potencia de un cuerpo negro; es decir, al numero de vatios por metros cuadrados (w/m^2) en el sistema mks, se tiene:

$$E = \delta T^4$$

en donde la constante de proporcionalidad

$$\delta = 5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ por } (^{\circ}\text{k})^4.$$

2.1.2.3. CONDUCCION.

Cualquier análisis en ingeniería exige una respuesta cuantitativa para que tenga sentido. Para desarrollar un análisis de este tipo en los problemas de transferencia de calor, se deben investigar las leyes físicas y las relaciones que rigen los diversos mecanismos de flujo de calor. Estos tres mecanismos de transferencia de calor (conducción, convección, radiación) intervienen generalmente combinándose al mismo tiempo, ya sea en serie o en paralelo.

La transferencia de calor por medio de la conducción se logra a través de dos mecanismos. El primero es la interacción molecular, en el cual las moléculas de niveles energéticos relativamente mayores (indicados por su temperatura) ceden energía a moléculas adyacentes en niveles inferiores.

Este tipo de transferencia sucede en los sistemas que tienen moléculas de sólidos, líquidos o gases y en los que hay un gradiente de temperatura.

El segundo mecanismo de transferencia de calor por conducción es el de electrones "libres", los cuales se presentan principalmente en los sólidos metálicos puros.

la concentración de electrones libres varia considerablemente para las aleaciones metálicas y es muy baja para los no metales. la facilidad que tienen los solidos para conducir el calor varia directamente con la concentración de electrones libres; en consecuencia, se espera que los metales puros sean los mejores conductores de calor, echo confirmado por la experiencia.

La relación básica para la transferencia de calor por conducción fue propuesta en 1822 por el científico francés J.B.J. Fourier. estableció que la rapidez de flujo de calor por conducción (q) en un material, es igual al producto de las tres siguientes cantidades:

- 1.- la conductividad térmica del material.
- 2.- el área de la sección a través de la cual fluye el calor por conducción, a (área que debe ser medida perpendicularmente a la dirección del flujo de calor).
- 3.- el gradiente de temperatura en la sección, dT/dx ; es decir, la rapidez de variación de la temperatura T con respecto a la distancia x en la dirección del flujo de calor.

Para escribir la ecuación de conducción de calor en forma matemática, se debe adoptar una convención de signos. Se especifica que la dirección en que se incrementa la distancia x es la dirección del flujo positivo. entonces, puesto que de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, el calor fluirá automáticamente desde los puntos de mas alta temperatura a los puntos de mas baja temperatura.

El flujo de calor será positivo cuando el gradiente de temperatura sea negativo figura 6.

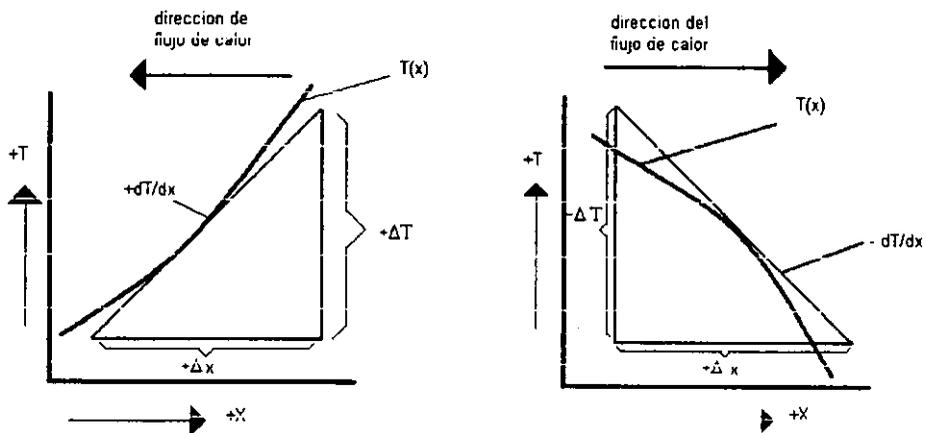


FIGURA 6

Consecuentemente, la ecuación elemental para conducción en una dimensión en estado estable se escribe:

$$q = - k A dT/dx$$

Considerando una pared de espesor L cuyas superficies se mantienen a temperatura T_1 y T_2 respectivamente. donde el material de la pared tiene una conductividad térmica K constante y área perpendicular al flujo de calor es A mediante integración directa de la ley de Fourier tenemos:

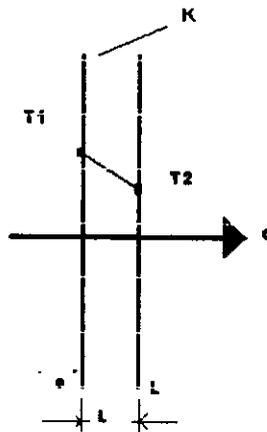


FIGURA 7

$q = Q/A$ entonces

$$q = - K dT/dx$$

$q dx = - K dT$ integrando

$$q \int_0^L dx = - \int_{T_1}^{T_2} K dT$$

$$0 \quad T_1$$

Aplico condiciones frontera $x = 0$, $x = 1$

$$T = T_1 \quad ; \quad T = T_2$$

$$q(L) = -K(T_2 - T_1)$$

$$q = -K(T_2 - T_1)/L = Q/A$$

CAPITULO 3.

3.1. METODOS DE SELECCION PARA AISLAMIENTO TERMICO.

3.1.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL ADECUADO.

Debido a las características del servicio que van a prestar los materiales aislantes, es necesario conjugar su baja conductividad térmica con otras propiedades que le permitan dar un buen servicio por largo tiempo, sin causar problemas secundarios, ni constituir en si mismos riesgos industriales de otra índole. Se pueden agrupar estas características como factores de selección de un material aislante como sigue:

FACTORES DE SELECCION DE UN AISLANTE

- 1.- CONDUCTIVIDAD TERMICA
- 2.- DENSIDAD
- 3.- COMPORTAMIENTO AL ABUSO MECANICO
- 4.- ESTABILIDAD DIMENSIONAL
- 5.- CONBUSTIBILIDAD (Y DESPRENDIMIENTO DE GASES TOXICOS)
- 6.- PROPICIACION DE MICROORGANISMOS
- 7.- CORROSIVIDAD
- 8.- TEMPERATURA LIMITE DE TRABAJO
- 9.- FORMA DE MANEJO, ALMACENAJE Y COLOCACION
- 10.- CAPILARIDAD

Es importante considerar estos factores tanto por el tipo de servicio y ambiente predominante como por el tipo de acabado adecuado para dar protección al aislante.

3.1.1.1. CONDUCTIVIDAD TERMICA.

Esta propiedad es sumamente importante en la selección del aislante y por consiguiente, es necesario conocer sus posibles variaciones durante la vida operativa del material. Generalmente esta propiedad se define bajo el efecto de algunas variables como pueden ser: temperatura, presión, naturaleza del gas que ocupa los poros, espesor de las paredes del poro fibra aislante y su orientación respecto al flujo de calor.

3.1.1.2. DENSIDAD.

Como ya se menciona, existe una relación entre la densidad y la porosidad de un aislante y en forma general el flujo de calor es inversamente proporcional a la densidad hasta el punto en que una densidad muy baja implica una porosidad elevada que produce un efecto de incremento en la conductividad térmica efectiva del material.

3.1.1.3. COMPORTAMIENTO AL ABUSO MECANICO.

Por las razones mencionadas anteriormente, el aislante es un material sumamente frágil que se requiere de precauciones durante su manejo, almacenaje, instalación y operación. Dependiendo de su estructura el material puede ser mas o menos frágil, y por consiguiente tendrá sus propios procedimientos de manejo y requerirá de acabados específicos.

A manera de ilustración, se puede mencionar que el espesor de un acabado de aluminio será diferente si se

usa un material rígido como el silicato de sodio, a que si usa colchoneta de lana mineral.

A fin de determinar el comportamiento de un aislante se hace necesario efectuar diferentes pruebas dictadas por las normas ASTM, y que se puede mencionar como principales en este renglón, el modulo de compresión y el modulo de ruptura.

3.1.1.4. ESTABILIDAD DIMENSIONAL.

Esta característica es importante desde el punto de vista instalación, debido a que por su característica porosa, un aislante tiende a encoger con el incremento de la temperatura, y si a esto se aúna la dilatación térmica de las paredes de recipientes, tuberías y equipos aislados. El problema se reduce al método adecuado de instalación que prevenga y absorba los diferenciales dimensionales del sistema a condiciones ambiente y a condiciones de operación.

Un aislante debe trabajar bajo condiciones de temperatura y presión que no le generen cambios dimensionales irreversibles ya que en esto alteraría sus propiedades y por consiguiente seria en su función

aislante o por lo menos su eficiencia seria diferente a la considerada en el diseño del espesor.

3.1.1.5. COMBUSTIBILIDAD.

Es deseable, desde el punto de vista seguridad industrial, que el aislante no se constituya en un riesgo potencial de propagación de fuego en caso de algún siniestro y esto va a limitar el uso de los aislantes orgánicos, o de componentes orgánicos en su formulación. Cuando no hay alternativa de selección de aislantes inorgánicos, en un caso dado, es necesario verificar que el aislante contenga elementos inhibidores de incendio o explosión que le den características retardantes y adicionalmente se hace necesario aplicar recubrimientos de características incombustibles.

Las espumas plásticas obtenidas por polimerización pueden ser espumadas con gases diferenciales al aire, que tiendan a detener la combustión y pueden fabricarse con "piel" o acabado superficial de alta densidad, sin embargo, dicha protección es relativa en caso de incendio. Es también importante considerar si los productos de la combustión son tóxicos ya que esto es

particularmente peligroso durante las maniobras de emergencia para control y extinción del siniestro.

Algunas espumas plásticas bajo el tratamiento citado cumplen las pruebas dictadas por el ASTM, otras pueden ser auto extingüibles por su misma composición química, tal es el caso de las espumas de PVC que por la presencia del cloro "apagan" la combustión.

Un caso interesante de mencionar es por ejemplo el uso de lana mineral, normalmente incombustible, puede ser causa de incendio en una planta de oxígeno, cuando su contenido de aceite es superior al 0.01%.

3.1.1.6. PROPICIACION DE MICROORGANISMOS.

Muchos de los aislantes usados en las instalaciones industriales antiguas eran confeccionados con desechos fibrosos propios de la industria, por ejemplo, el bagazo de caña, viruta de madera, pelos de animales, paja, etc., eran aglutinados con lodo o resinas y puestos sobre la superficie por aislar; frecuentemente el corcho funciona como un excelente aislante y todos estos materiales por descomposición favorecen la vida microorgánica de hongos y bacterias que para subsistir originan

reacciones indeseables con la superficie metálica aislada, propiciando y acelerando la corrosión. Por lo anterior es necesario asegurarse que el aislante seleccionado no contenga ingredientes orgánicos que generen este tipo de problemas.

3.1.1.7. CORROSIVIDAD.

La corrosión es un problema industrial de primera importancia; muchas aleaciones a desarrollado la investigación metalúrgica para minimizar esta tendencia de los metales a asociarse con otras sustancias y retornar al estado en que son encontrados en la naturaleza, en realidad la corrosión solo respeta en cierto grado a los metales nobles y por consiguiente, las aleaciones de metales que reducen la corrosión son sumamente caras y su uso se justifica en situaciones específicas.

Cuando un aislante propicia la formación de microorganismos o bien dentro de sus componentes algo es soluble en agua, es posible generar una corrosión electrolítica por el par formado entre los metales del recipiente y el acabado. Por ejemplo la perlita expandida es aglutinada por silicato de sodio para fabricar

preformados rígidos, si el material se moja durante su instalación el silicato se disuelve y forma una solución alcalina que atacara al aluminio, en algunos casos, el aluminio esta totalmente picado antes que la planta entre en operación. Actualmente se adiciona silicón durante la mezcla de los componentes de tal manera que al ser preformado y cocido, el aislante es repelente al agua evitando los riesgos de corrosión citados.

3.1.1.8. TEMPERATURA LIMITE DE TRABAJO.

Es necesario considerar este aspecto en la selección del aislante a fin de garantizar el buen funcionamiento del sistema del aislamiento térmico. Todos los materiales tienen una temperatura limite de trabajo y los fabricantes que se consideren serios deben incluir este dato en la especificación de su material; en caso de existir duda, debe verificarse su comportamiento a la temperatura de operación.

Los factores que limitan el trabajo del aislante por temperatura pueden ser los siguientes:

Degradación de uno o varios de sus componentes.

Quemado y/o desprendimiento de humos por alguno de sus componentes, (emigración de algún material).

Fusión o ablandamiento de su estructura vidriada que provoque cambios dimensionales permanentes.

La manera de determinar la temperatura máxima de operación de un material es fijando en la cara caliente 28°C por debajo de la temperatura que soporta el material antes que ocurra cualquiera de los aspectos mencionados; para mayor seguridad el limite puede establecerse (sobre todo en cementos aislantes y refractarios) de 50°C por debajo de la temperatura de prueba mencionada.

3.1.1.9. FORMA DE MANEJO, ALMACENAJE Y COLOCACION.

En este renglón hay dos aspectos básicos a considerar: La naturaleza propia del material (fragilidad, capilaridad, etc.), y su riesgo para la salud del personal que lo fabrica o coloca.

En forma general se puede decir que los aislantes rígidos y los semirígidos y flexibles son mas sensibles a

la humedad por lo que deben seguirse ciertas reglas de preservación.

En cuanto al riesgo de sanidad de algunos materiales, se pueden hacer los siguientes comentarios:

Espuma de poliuretano: durante el espumado ya sea en fábrica o en el sitio (espreado directo) los valores de los isocianatos son tóxicos y producen irritación bronquial por lo que esta maniobra debe hacerse usando mascarillas. En caso de incendio que queme el aislante, debe de usar mascarillas para evitar la inhalación de los gases producto de la combustión que contienen fisgones altamente tóxicos.

Fibra de vidrio en colchoneta: debido a la longitud y estructura de las fibras, se hace necesario usar guantes y goggles, así como ropa holgada que al atrapar fibras no provoquen irritaciones de la piel, así mismo es necesario el uso de cremas en las partes del cuerpo expuestas y lavarse después del manejo del aislante.

Las mismas precauciones se recomiendan en el uso de colchas de lana mineral aunque los problemas son menores debido a que la fibra es menos filosa en sus extremos y su tamaño es mas corto.

Asbesto: aunque este material ha caído en desuso debido a los problemas de salud que se le imputan, es conveniente indicar sus recomendaciones de manejo.- Siendo una fibra rígida de origen mineral; desde su extracción de una mina, en su tratamiento y elaboración de los aislantes y en su manejo a granel, tanto seco como mojado; existe desprendimiento de microfibras que a manera de polvo pueden ser inhaladas alojándose en los conductos bronquiales y los pulmones, causando irritación pulmonar, y debido a que las microfibras se incrustan en las cavidades pulmonares y no pueden desalojarse, se puede presentar con el tiempo cáncer pulmonar. Es por lo tanto indispensable usar mascarillas adecuadas, adicional al equipo indicado para el manejo de materiales fibrosos.

3.1.1.10. CAPILARIDAD.

Aunque ya se ha mencionado algunos aspectos acerca de los problemas que se presentan con aislantes que absorben humedad, uno de los principales efectos que produce la inclusión de agua u otros líquidos en el aislante, es que alteran drásticamente sus propiedades y mas específicamente su conductividad térmica.

3.2.1. SELECCIÓN PRELIMINAR.

Clasificar los aislantes tanto por sus características físicas como por sus rangos de operación, así como conocer los factores de selección necesario, permite efectuar una selección preliminar descartando a aquellos materiales no adecuados al servicio, de manera que es posible efectuar una selección económica que considere a los materiales seleccionados preliminarmente.

Un aspecto de menor importancia, pero que conviene conocer para preferir un material sobre otros, es la compatibilidad de su presentación respecto a la superficie por aislar.

Los aislantes rígidos y semirígidos se presentan normalmente en medias cañas, cuadrantes, sextantes, placas angostas y anchas.

Los aislantes flexibles se presentan en colchonetas armadas con tela desplegada en ambas caras, con tela desplegada, en lona y tela pollera, con película de aluminio, en rollos sin refuerzos, etc.

los monolíticos se consiguen en envases de plástico o papel y requieren para aplicarse, mezclarse con agua y reforzar su aplicación con tela pollera.

La tabla No. 2 da recomendaciones de uso del material aislante según su presentación y tipo de superficie por aislar:

RECOMENDACIONES DE AISLANTES

TIPO DE AISLANTE	TUBERIAS	RECIPIENTES	ACCESORIO	PARTES
RIGIDOS	*	*	(1)	
FLEXIBLES	*	* (2)	* (3)	* (3)
CEMENTOS		(4)	*	*

TABLA 2

1. Mandos a hacer sobre medida, no es muy usado.
2. Cuando el relevado de esfuerzos no se pueden soldar pernos en campo, es el mejor.

3. En codos y válvulas requiere malla de refuerzo, flejes y cemento monolitico.

4. En tapas y accesorios.

3.3.1. SISTEMAS PARA INSTALACION.

3.3.1.1. PRELIMINARES.

Tanto para servicios calientes como fríos, es sumamente importante efectuar de manera adecuada los preliminares a la aplicación del aislante.

Para mayor claridad se presentan en el siguiente cuadro sinóptico.

PRELIMINARES
(1a. y 11a.)
(Igual para ambos
casos)

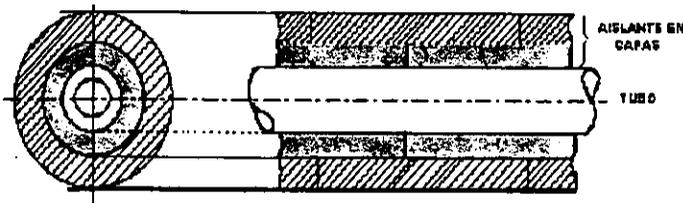
- 1.- VERIFICAR QUE LAS TUBERIAS O EQUIPOS ESTEN DEBIDAMENTE INSTALADOS Y PROBADOS.
- 2.- EFECTUAR LA LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE POR AISLAR YA SEA MECANICA (CHORRO DE ARENA, CEPILLO, ETC.,) O QUIMICA (CON SOLVENTES O REMOVEDORES).
- 3.- APLICAR PINTURA ANTICORROSIVA.

3.4.1. INSTALACION EN TUBERIAS A ALTA TEMPERATURA.

Una vez cubiertos los preliminares se procede a instalar el aislante seleccionado (hasta 12", es adecuado el preformado).

3.4.1.1. EN TUBERÍA HORIZONTAL.

Se juntan las medias cañas a presión sobre la tubería, cuatrapeando las uniones entre tramos de forma inclinada y se sujetan con flejes o cinchos de alambre con las puntas clavadas sobre el aislante, las secciones tienen 90 centímetros de longitud normalmente se le ejes por sección figura 8.



CUATRAPEO DE PIEZAS EN UNIONES A LO LARGO Y EN MULTICAPAS PARA ROMPER CONTINUIDAD Y EVITAR PUNTOS CALIENTES

FIGURA 8

Algunos fabricantes también presentan preformados en 4 o 6 secciones, la unión debe sellarse con cemento monolítico y sujetarse, en forma similar.

En este caso se recomienda usar el sistema de la cámara de bicicleta para ensamblar las secciones . El alambre de sujeción puede ser de calibre 14, 16 ó 18, dependiendo del tamaño del tubo.

Se recomienda el sistema de alambrado, si los diámetros son grandes se puede poner un amarre adicional a la mitad de la sección.

3.4.1.2. EN TUBERÍA VERTICAL.

Se tiene que poner soportes , si es permitido por las condiciones de la tubería, si no tiene relevado de esfuerzos se puede puntear, de lo contrario, se tiene que sujetar con aprietes a la línea 4 ó 6 metros para preformado.

3.4.1.3. VENAS DE VAPOR.

Si las líneas llevan venas de vapor, ya sea rectas o como serpentín el diámetro interior del preformado será considerando la vena; en un material semirígido se puede poner un relleno algodonoso RW-4200 y con el apriete de los cinchos queda bien instalado.

3.5.1. JUNTAS DE EXPANSIÓN.

Las juntas de expansión, se requieren por el metal de la línea, es decir al calentarse esta se dilata ocasionando rompimiento del aislante, esto se evita dejando una separación de 2" cada 2 ó 3 metros con temperaturas de 500° F. esa separación se rellena de fibra algodonosa RW-4200 que servirá como muelle en las expansiones o contracciones, de la tubería.

3.5.1.1. BRIDAS.

Para aislar bridas se pueden usar también cementos aislantes como se muestra en las figuras 9 y 10 teniendo la precaución de que el aislante de la tubería tenga un

acabado independiente como objeto de no deteriorarlo cuando sea únicamente el aislante plástico de la brida.

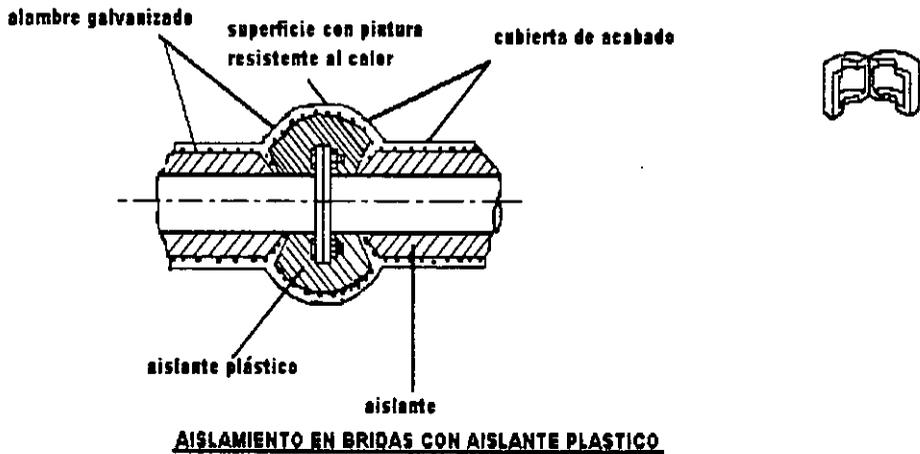


FIGURA 9

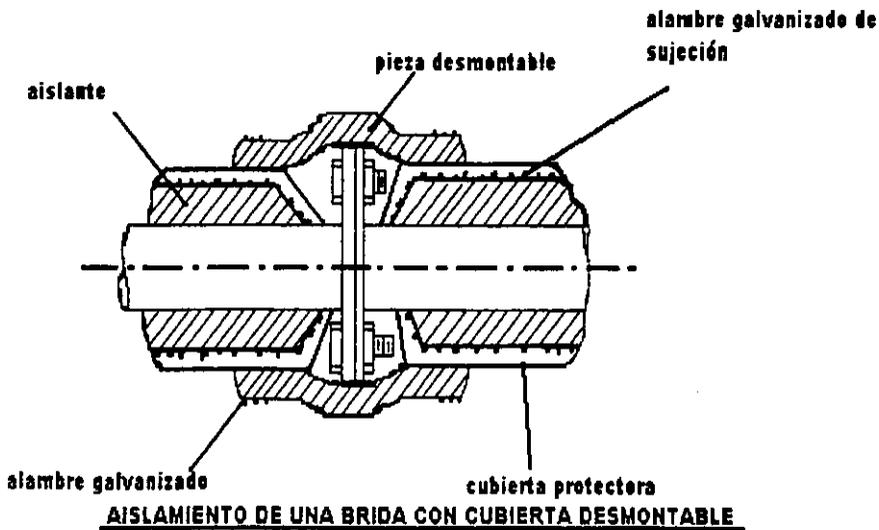


FIGURA 10

3.5.1.2. ACCESORIOS.

En codos y accesorios, se puede usar colchoneta o fibra algodonosa armada con malla de gallinero y costuras de alambre de calibre 16, también se puede usar el preformado, seccionado con pequeños tramos para dar la forma de las partes figura 11.

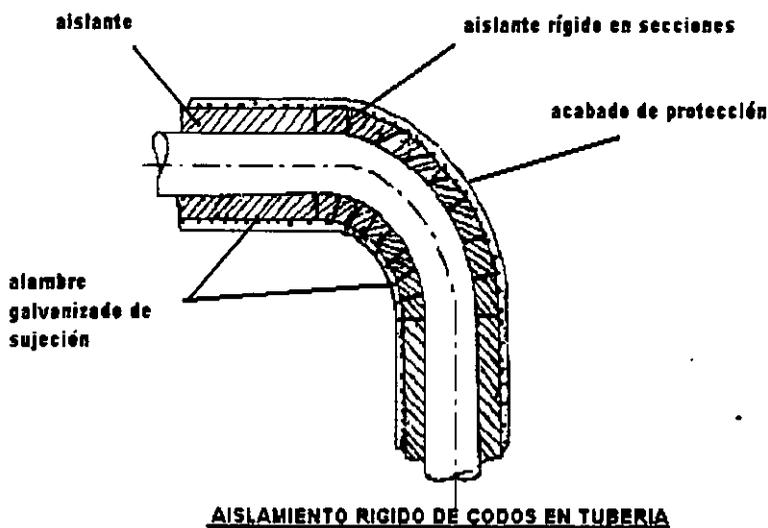


FIGURA 11

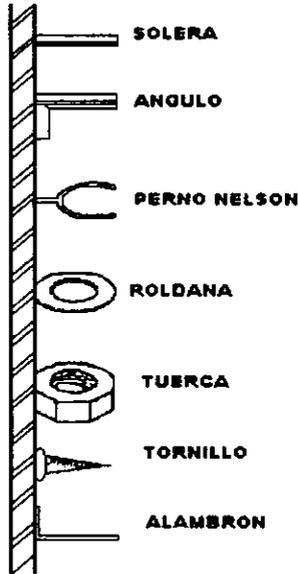
Si se aísla alguna línea con colchoneta (diámetro 12") se tiene que cortar de acuerdo al desarrollo de la tubería y efectuar costuras con alambre calibre 16 en

todas las uniones (ancho de colchoneta 61 centímetros) dos cinchos por tramo.

3.6.1. INSTALACIÓN EN EQUIPO A ALTA TEMPERATURA.

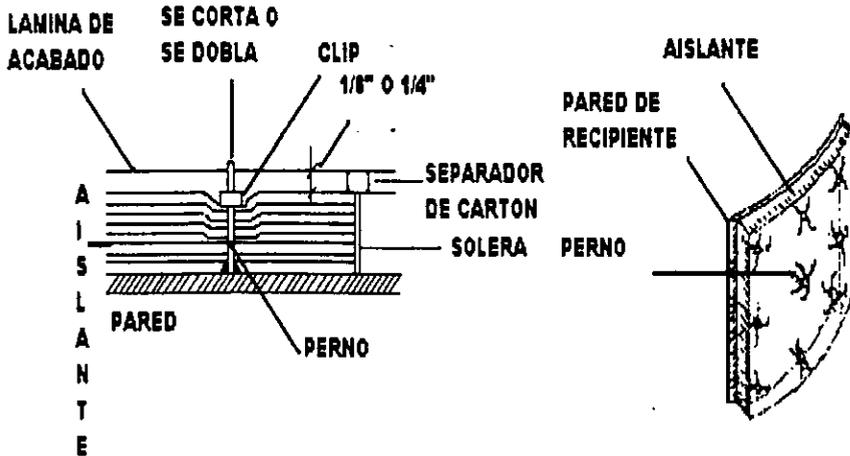
3.6.1.1. SISTEMA FIJO.

Se le llama así al sistema que lleva algún tipo de anclaje para el aislante soldado a la superficie del equipo por aislar, el cual puede ser cualquiera de los mostrados en la figura 12. La recomendación es soldar 9 anclas/m#, sobre el cual se encaja el aislante, ya sea en forma de placa o colchoneta y se engrapan las puntas salientes presionando el aislante, figura 13, también se pueden alambrar las puntas de manera que el aislante quede fuertemente sujeto. Una buena instalación de placas requiere que sus bordes estén achaflanados con objeto de evitar posibles puntos calientes en las uniones; en colchonetas se debe realizar un cosido con alambre en todas las uniones.



TIPOS DE SOPORTERIA PARA FIJAR EL AISLANTE

FIGURA 12



SUSPENSION FIJA DE AISLANTE EN RECIPIENTES

FIGURA 13

En cabezas de recipientes se puede seguir el mismo procedimiento o bien efectuar la sujeción como se muestra en la figura 14 es decir, soldando tuercas sin roscar a la cabeza del recipiente a las cuales se les coloca alambre de amarre se inserta el aislante y se fleja sobre el, de manera que las puntas del alambre puedan amarrarse al fleje, quedando de esta manera el sistema instalado.

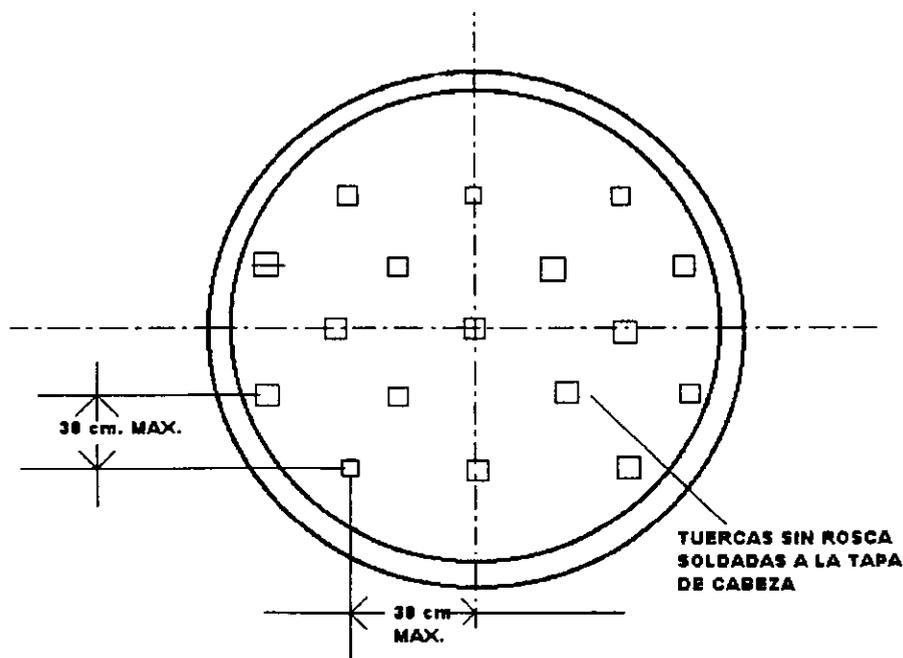
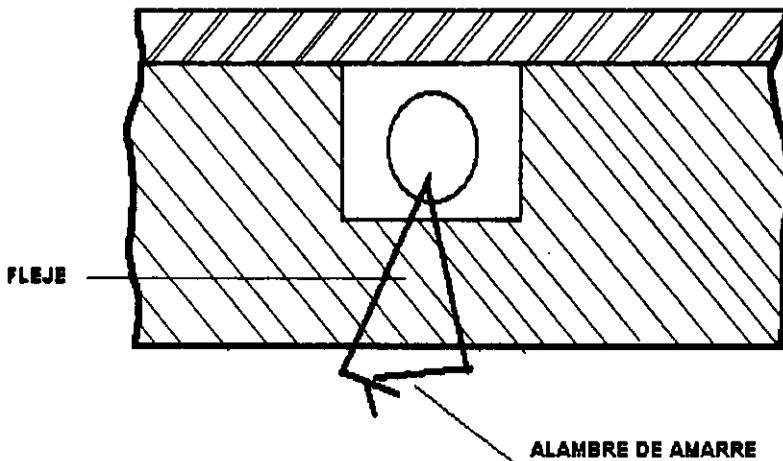


FIGURA 14



**SOPORTE PARA EL AISLAMIENTO DE CABEZAS DE RECIPIENTES
VERTICALES Y HORIZONTALES (ALTA TEMPERATURA)**

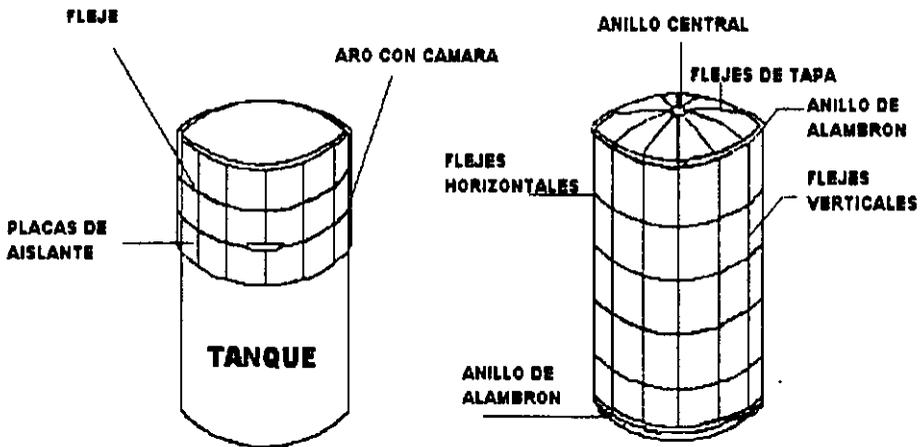
FIGURA 15

Este tipo de instalación se puede efectuar en equipo que no opere con temperaturas superiores a 586° o en el caso de que estos lleven relevado de esfuerzos, es necesario recurrir al sistema de instalación suspendida.

Una precaución importante es aislar las puntas del anclaje ya que son importantes puntos de fuga de calor, esto se consigue con un mastique aplicado sobre los "botones de colchón" hasta conseguir un colchón uniforme, o bien, usando un cartón de asbesto que separe estas puntas del acabado.

3.6.1.2. SISTEMA SUSPENDIDO.

Es también denominado sistema flotante, debido a que no lleva ningún tipo de anclaje sobre la superficie del equipo por aislar. cuando se ha seleccionado este tipo de instalación es conveniente seguir las siguientes recomendaciones que ilustran en la figura 16.



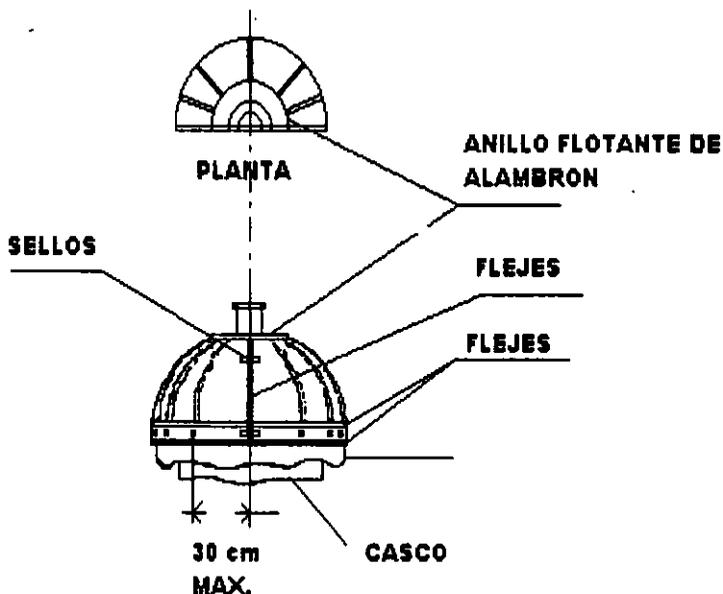
**SISTEMA FLOTANTE
(JAULA DE PERICO)**

FIGURA 14

1. Con alambre y una cámara de bicicleta, se improvisa un aro de diámetro un poco menor al del recipiente por aislar.

2. Empezando por la parte superior se coloca el aro en el recipiente y estirando la cámara se coloca la primera placa del aislante, efectuando la misma operación hasta cubrir el desarrollo del recipiente (cuando es fibra de vidrio, la unión se hace presionando una placa con otra), cuando es otro aislante se precisa un material adherente para evitar "juntas calientes"; con flejes o cinchos se sujeta fuertemente el aislante al recipiente permitiendo desplazar el aro para aislar la siguiente sección; los flejes se colocan mínimo uno cada pie de longitud.

Para el aislamiento de las tapas, es necesario instalar en cada extremo del recipiente en la unión tapa cuerpo, unos anillos de alambón o flejes de manera que sobre de ellos se puedan tensar los que sujetan las placas de aislante a la tapa, finalmente se ponen flejes entre los anillos de alambón con el objeto de darle un armado total a la instalación, a esto se le conoce como "jaula de perico" figura 17.



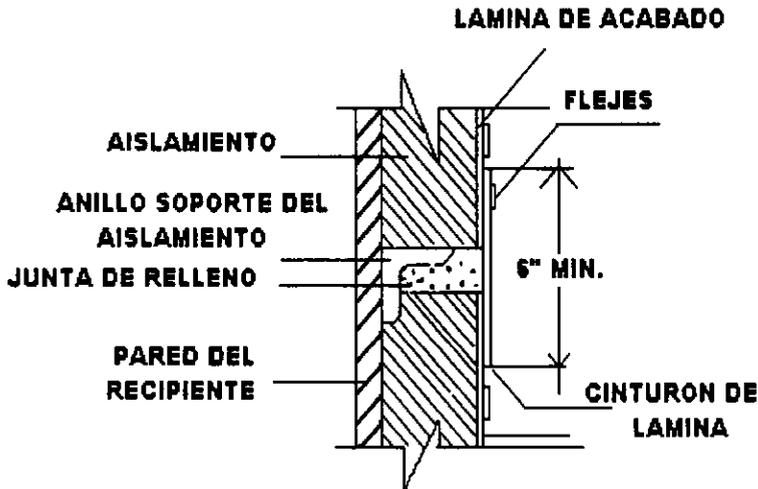
AISLAMIENTO EN TAPAS DE RECIPIENTES

FIGURA 17

Tanto en tuberías como en recipientes todos los soportes y patas son puntos de fuga de calor por lo que es necesario aislarlos, para tuberías, es normal aislar 2" a partir de la superficie del aislamiento (para altas temperaturas) y en recipientes 2,3 o mas pulgadas dependiendo de la temperatura de operación.

Las juntas de expansión requeridas en recipientes se instalan de acuerdo a lo mostrado en la figura 18 el

sistema de remate en boquillas se puede aplicar con mastique, tela de fibra de vidrio y el aislante.



JUNTAS DE EXPANSION-CONTRACCION EN AISLAMIENTO DE RECIPIENTES (ALTA TEMPERATURA)

FIGURA 18

3.7.1. INSTALACION A BAJA TEMPERATURA.

Los lineamientos para instalación del sistema de aislamiento térmico son prácticamente los mismos con algunas excepciones. El sistema de pernos no se usa para este caso, el mas aconsejable es el sistema flotante,

las recomendaciones adicionales son: no dejar de un día para otro un aislamiento expuesto a la intemperie, lo que se consigue instalando la barrera de vapor simultáneamente y sellando la parte que no se unió, con un tramo de dicha barrera.

Es importante al determinar el espesor del aislante, tomar en cuenta la temperatura de superficie exterior y la humedad del ambiente (a través de la temperatura de rocío) con el objeto de prever condensaciones de la humedad del ambiente sobre la superficie, que ocasione problemas de corrosión o encharcamiento indeseables.

Existen otros aislantes para servicios de baja temperatura como el Poliéstireno o el Poliuretano en los cuales el espumado puede hacerse en campo con el sistema de expresamiento directo sobre la superficie por aislar.

3.7.2 BARRERA DE VAPOR.

La barrera de vapor es una película que se coloca sobre el aislante térmico a baja temperatura y debe tener dos características básicas indispensables:

1. Permanencia de 0.2 perms. Máximo a 0.001 perms.

2. Hermetismo o continuidad.

Perm.- Un grano de vapor de agua que pasa a través de 1 pie², en una hora de operación y con una diferencia de presión de 1" Hg.

(1 grano de H₂O = 1/700 lbs).

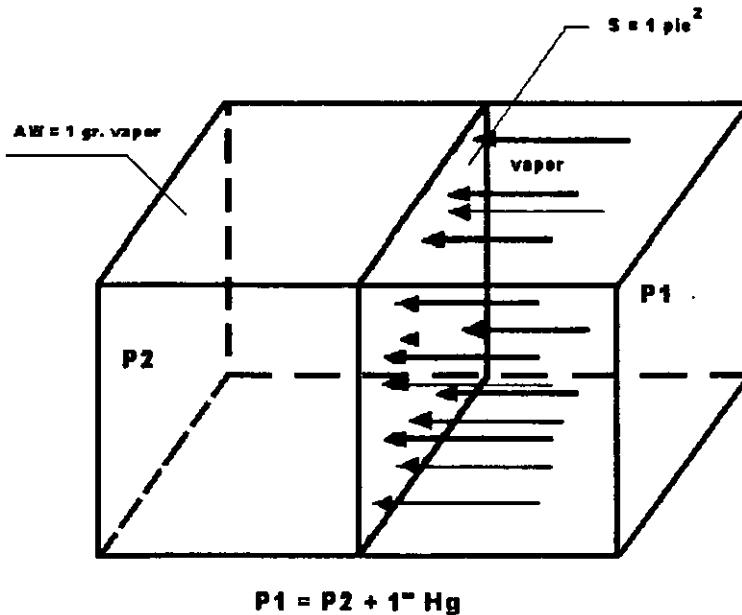


FIGURA 17

3.7.2.1. DETERMINACION DE UN PERM.

Existen barreras de vapor prefabricadas (PYROVIT para tuberías) y elaboradas en el campo a base de mastic. El PYROVIT esta formado de papel, asfalto y file de aluminio, se debe de tener cuidado de sellar las uniones con mastic para dar el hermetismo requerido.

Cuando la barrera de vapor se da con mastic en el campo (emulsión de asfalto - aromática) esta se puede aplicar con llana o por aspersion de acuerdo a la siguiente figura 18.

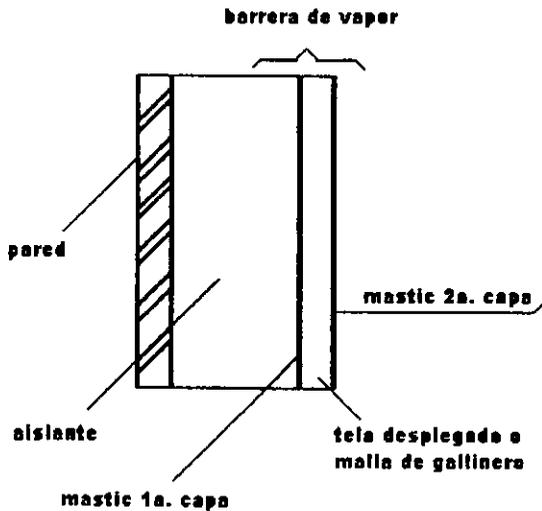


FIGURA 18

Una mala aplicación que deje un orificio es suficiente para destruir el aislante, ya que por el penetrara la humedad ocasionando condensaciones internas y congelamiento si el servicio es criogénico. Si el agua ocupa las cavidades del poro del aislante modificara su factor K perdiendo sus características aislantes.

La siguiente figura 19 muestra detalles de instalación de la barrera de vapor, señalando los problemas que puedan ocurrir por mala aplicación, resaltando la importancia de su función.

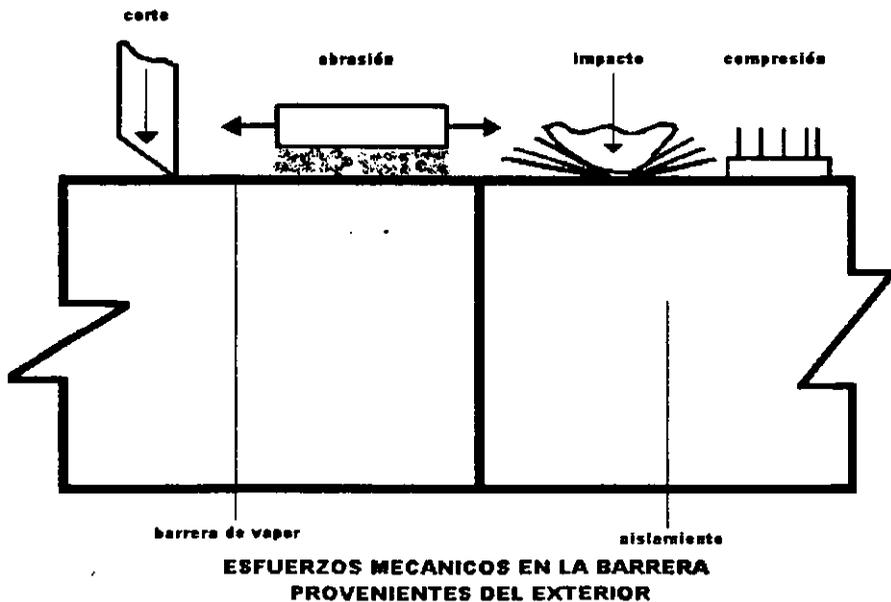


FIGURA 19

3.8.1. ACABADOS.

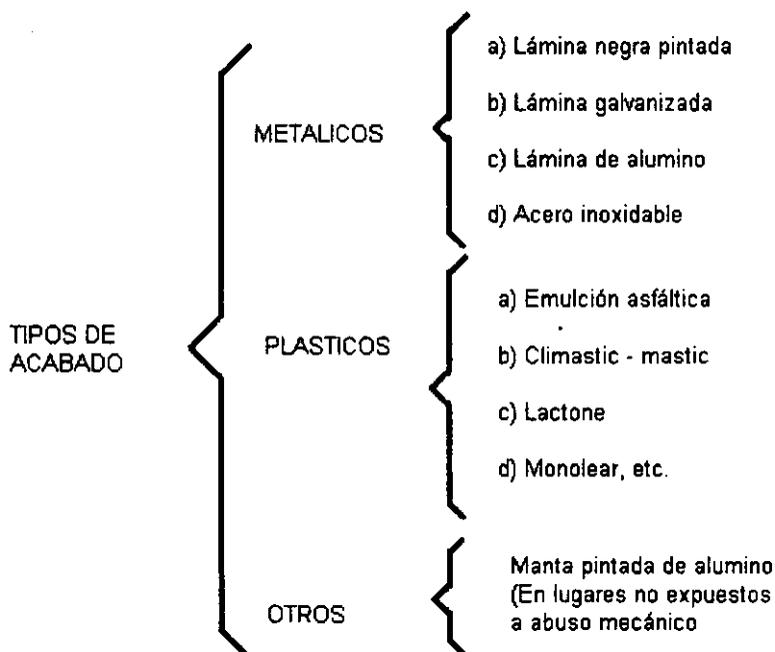
La función básica de los acabados es la de dar protección al instante contra una, varias o el total de las siguientes razones:

- 1.- Intemperie (nieve, lluvia, humedad, viento)
- 2.- Abuso mecánico y abrasión
- 3.- Paso de vapor
- 4.- Radiación solar ultravioleta e infrarroja
- 5.- Gases, humos y sustancias químicas
- 6.- Fuego

Es importante considerar el tipo de protección que requiere el aislante y el tipo de ataque que puede recibir, para poder seleccionar el acabado adecuado. Los acabados se pueden seleccionar en dos grandes grupos: metálicos y no metálicos, presentando en cada uno las opciones de protección enlistadas y requiriendo en algunos casos la combinación de los dos tipos o el

auxilio de los no metálicos cuando se selecciono el acabado metálico.

El cuadro sinóptico siguiente muestra los tipos de acabado que se pueden utilizar.



3.8.1.1. ACABADOS METALICOS.

Los metálicos para altas y bajas temperaturas cubren básicamente los aspectos de protección de intemperie, abuso mecánico y contra fuego, además de

darle una apariencia agradable al arrea de trabajo no conseguida por los otros acabados.

Los acabados mostrados en el cuadro sinóptico tienen características particulares que se mencionan a continuación:

a) Lamina negra.

Es el acabado metálico mas barato, de menor vista y de mantenimiento caro, de no pintarse en periodos cortos su oxidación es inminente y por consiguiente sus funciones protectoras se pierden.

b) Lamina de aluminio.

Es el acabado metálico mas usado en la industria, debido a que es resistente a la humedad, ligero, y manejable, de buenas cualidades mecánicas a espesores adecuados, reflectivos y de excelente apariencia. No es adecuado en ambientes alcalinos, ni da protección contra el fuego debido a que su temperatura de ablandamiento es de 1200 °F.

c) Lamina galvanizada.

Es de magnificas características mecánicas debido a su densidad tres veces mayor a la del aluminio, su apariencia es buena aunque inferior, se recomienda en partes expuestas a fuerte abuso mecánico y en ambientes secos ya que se oxida fácilmente en presencia de humedad.

d) Lamina de acero inoxidable.

Seria la mejor opción de no ser por su alto costo.

Es inerte a casi todas las atmósferas (corrosivas, de solventes, etc.) da protección contra el fuego. -funde a 2600 °F- tiene excelente resistencia mecánica es de apariencia brillante insuperable. Una precaución importante es no usarse en ambientes clorados ya que los iones cloro ocasionan esfuerzos de corrosión por cuarteaduras que hacen inoperante el acabado.

En los acabados metálicos existe la posibilidad de formación de una celda electrolítica ya sea porque el aislante tenga algún aglutinante que se disuelva con la humedad (silicato de sodio por ejemplo) y origine un flujo de corriente entre el metal de acabado y el metal de

la pared aislada, originando una reacción electroquímica de corrosión; o bien el caso en donde el metal de refuerzo de un aislante flexible este en contacto con la lamina de acabado.

Cuando se presenta el primer caso es necesario dar una protección adicional aplicando una película de polietileno en la lamina o bien aplicando sobre el aislante un mastique de 1/8" de película seca que impida el paso de la humedad y el flujo de corriente, a esta se le suele llamar barrera de humedad. Es también factible resolver el problema aplicando mastique en el traslape de la lamina de acabado y dándole 2 ½" de traslape, o bien efectuando un machihembrado de lamina y sellando con mastique la barrera de humedad. Una precaución adicional seria el efectuar todos los traslapes en sentido contrario a los vientos dominantes y en tubería horizontal a una inclinación mínima de las dos de la tarde.

En el segundo caso, es conveniente instalar un separador dialéctico entre metales disimiles que puede ser papel asfaltado o permafelt.

Es importante que tanto las pijas como los flejes sean del mismo material que la lamina para no tener

corrosión galvánica, sin embargo, es recomendable en todos los casos utilizar los elementos de sujeción de inoxidable por no tener este problema de corrosión y ganar en resistencia mecánica.

En baja temperatura debido a la necesidad de aplicar barrera de vapor, nunca se deben usar pijas remaches para sujeción del acabado, la cual se debe efectuar con flejes de inoxidable (de preferencia) y a una separación máxima de 6".

3.8.1.2. ACABADOS NO METALICOS.

Dentro de la clasificación de recubrimientos de protección que forman parte de los sistemas de aislamiento térmico, el grupo de los no metálicos es muy amplio e incluye tanto materiales asfálticos, como poliméricos, y elastoméricos. Es posible incluir en esta parte también las barreras de vapor tan necesarias en los sistemas de aislamiento térmico a baja temperatura.

El cambio de material de acabado metálico por un material no metálico, puede ser gobernado por el tamaño, forma o localización de la superficie aislada a proteger. Su facilidad de instalación, aun en superficies

muy irregulares y sus características protectoras los catalogan como excelentes. Pueden ser aplicados con brocha, guante y llana o bien esparcidos; siempre requieren de alguna malla de refuerzo que puede ser tela pollera, lona o tela de fibra de vidrio.

Los acabados no metálicos, frecuentemente se les llama barrera de humedad, membrana a prueba de agua o barrera de intemperie, siendo en servicios de alta temperatura su función principal impedir el daño del aislante por el agua de lluvia, nieve, ventiscas y alta humedad del ambiente, sin embargo, tiene beneficios adicionales como el ser películas flexibles que también aportan protección mecánica, al ataque químico y protección contra el fuego, así mismo pueden ofrecer protección contra efectos de oxidación y radiaciones infrarrojas y ultravioleta.

Las emulsiones asfálticas son aplicables como acabados debido al alto peso molecular y baja densidad que permite la formación de membranas impermeables de buenas propiedades mecánicas, es posible preparar fórmulas con alto contenido de sólidos con solventes orgánicos que le confieren a la membrana características de barrera de vapor como lo son la baja permanencia y la flexibilidad excelente. Su principal inconveniente es

que no se pueden pigmentar por lo que su color es negro, en algunos casos con solvente orgánico (xilol) es posible darle un color aluminio.

Las emulsiones poliméricas normalmente son en base acuosa y permiten la formación de películas flexibles e impermeables a las que normalmente se pigmentan de color blanco o crema, por lo general su contenido de sólidos es muy inferior que el requerido en los asfaltos para su mismo servicio.

Los acabados elastoméricos pueden ser en base acuosa o en solvente orgánico, por lo general se consiguen membranas elásticas de gran resistencia a la intemperie, al fuego y a sustancias químicas, pueden conseguirse membranas de tal resistencia que requieran una sola capa y que son capaces de soportar ácidos diluidos, álcalis y solventes.

CAPITULO 4

4.1. DISEÑO ECONOMICO DE ESPESORES.

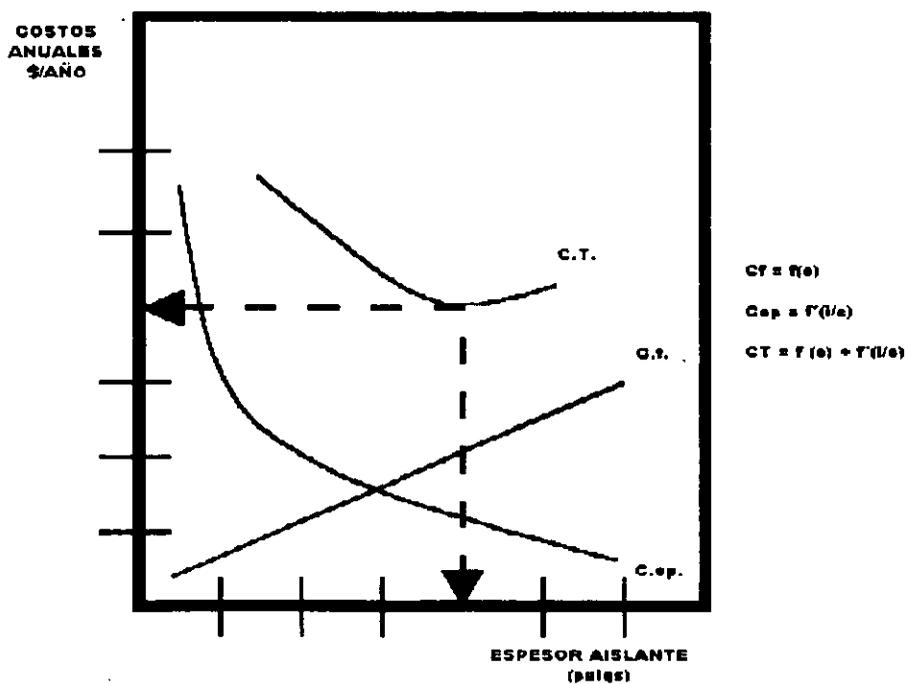
Hasta el momento se han establecido los modelos y descrito el proceso de calculo para la determinación de los parámetros q real y T_4 para ciertos espesores considerados; la determinación y el espesor económico se efectúa básicamente por técnicas de balance económico.

4.1.1. BALANCE ECONOMICO.

El requisito indispensable para poder realizar un balance económico es que existan costos que tengan variación ascendente y descendente con respecto a una o varias variables.

Para la optimización de sistemas de aislamiento térmico se tiene como variable común el espesor del aislante, los costos ascendentes son función de la inversión en el sistema expresados como costos fijos que se incrementan al aumentar el espesor y los costos descendentes son función del ahorro de energía

conseguido expresados como costos variables (calentamiento o enfriamiento) ya que al aumentar el espesor del aislante disminuirán las pérdidas de energía del sistema al ambiente; esto se muestra en la siguiente figura 22.



BALANCE ECONOMICO, GASTOS ASCENDENTES Y DESCENDENTES CON RESPECTO A LA VARIABLE COMUN. (ESPESOR AISLANTE)

FIGURA 22

En la gráfica de costos se pueden apreciar varias cosas, la curva de costos de operación variable, muestra que la primera o primeras pulgadas de espesor van a retener la mayor parte de calor, el espesor puede seguir aumentando sin que elimine el paso del calor sensiblemente, en esta parte la curva se hace asintótica. Por otro lado ese incremento de espesor va a significar mayor inversión y el balance entre estos aspectos va a reportar un costo total mínimo de inversión o en otras palabras el sistema de aislamiento es una inversión rentable, el la que el ahorro de energía va a constituirse en pesos por año por cada pie² de superficie aislada.

La manera de determinar los costos fijos y variables es como sigue:

4.1.2. DETERMINACION DE COSTOS FIJOS.

Para expresar los costos fijos en función de la inversión de adquisición se tiene la siguiente ecuación.

$$CF = I_a \cdot (1 + F) \cdot B$$

En donde F es un factor que involucra todos los costos por fletes, instalación, acabados e indirectos como porcentaje del costo del aislante.

B es un factor que involucra la amortización del capital R y el deterioro del sistema de aislamiento ocasionado por mantenimiento al equipo o línea aislada M.

$$B = R + M$$

$$R = r/1 - (1 + r)^{-h}$$

M = Se considera un 3% de la inversión total del sistema instalado.

Siendo r el interés anual capitalizable semestral o anualmente y n el periodo considerado para amortizar la inversión.

4.1.3. DETERMINACION DE COSTOS VARIABLES.

Los costos de operación se pueden determinar con la siguiente expresión:

$$C_{op} = q \times \Theta \times N$$

Siendo q = el calor cedido o ganado por el sistema al o del ambiente.

Θ = las horas totales anuales de operación del equipo por aislar.

N = costo indirecto de energía para una corriente de proceso, vapor de agua o combustible \$/mm BTU aprovechados.

$$\text{Siendo } N = a (1 + r')^n Fe$$

a = \$/mm BTU liberados por el combustible.

r' = % de incremento anual del costo de combustible.

Fe = factor de eficiencia del sistema = $1/\text{Eficiencia}$.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

CONCLUSIONES:

Se puede concluir que el desarrollo y la diversificación del aprovechamiento de los recursos naturales, como en un principio la piedra, la madera, pieles, cueros de animales fibras vegetales y animales. Y que ahora con la industrialización y el desarrollo inusitado de nuevas técnicas y productos de la industria minera, química y mas propiamente la petroquímica que a principios del siglo pasado empezó a mostrar sus bondades han propiciado una nueva concepción de la vida contemporánea.

Se aprecia que el costo inicial de los aislantes térmicos en los equipos puede ser un poco alto, pero el costo de operación va a disminuir en virtud de un mejor aprovechamiento de la energía térmica.

BIBLIOGRAFIA:

* JAMES R. WELTY

Transferencia de calor aplicada a la ingenieria
De. Limusa.

* DONALD Q. KERN

Procesos de Transferencia de Calor
De. C.E.C.S.A.

* HOLMAN J.P.

Transferencia de Calor
Cia. De. Continental, S.A. DE C.V.

* KREITH

Principios de Transferencia de Calor

* TYLER

Process Engineering Economics

* RAY THOMAS

Thermal Insulation for Industrial Requerements
A Gulf Publishing Company Publication

* JOHN F. WHITE

Low - temperature Insulation
Chemica Engineering progress Vol. 44

* J.B. MARKS, K.D. HOLTON
Protection of Thermal Insulation
Chemical Engineering Progress Vol. 70

* R. H. KROPSCHOT
Cryogenic Insulation
Ashrae Journal.