



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"CUAUTITLAN"

**SELECCION Y APLICACION DE AISLANTES TERMICOS
PARA SERVICIOS A BAJAS TEMPERATURAS**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
JOSE RIVERA POSADAS

DIRECTOR DE TESIS:

ING. JOSE DE JESUS REYES ZUÑIGA

CUAUTITLAN IZCALLI,

1982



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.

I N D I C E .

	Pág.
Introducción	1
CAPITULO I.- GENERALIDADES	1
1.1 Radiación	1
1.2 Convección	2
1.3. Conducción	2
1.3.1 Conducción en Estado Estable a través de una par- -ed plana	3
1.3.2 Flujo de Calor a través de la pared de un tubo ..	6
1.2.- Aislantes Térmicos	8
1.3.- Razones por las que se utiliza aislamiento térmi- co	10
1.4.- Clasificación por sus características físicas ...	12
1.5.- Normas Aplicables a las bajas temperaturas	13
CAPITULO II.- "DESCRIPCION DE LOS AISLANTES TERMICOS - UTILIZADOS EN LAS BAJAS TEMPERATURAS" .	15
2.1.- Importancia del Aislamiento	15
2.2.- Tipos, Propiedades y Clasificación	17
2.3.- Consideraciones Previas para Seleccionar y Apli-	

	Pág
car los Aislamientos	22
2.3.1.- Clasificación por Temperatura de Operación ...	22
2.3.2.- Forma Física del Aislamiento	26
2.3.3.- Propiedades	27
2.3.4.- Conclusión	30
2.4.- La Barrera de Vapor	30
2.4.1.- Adhesivos del Aislante	34
2.5.- Tabla de Clasificación General de Aislamientos .	35
2.6.- Pérdidas Económicas registradas en Tuberías Des- nudas	35

**CAPITULO III.- "APLICACION DEL AISLAMIENTO TERMICO PA-
RA SERVICIOS A BAJAS TEMPERATURAS" 39**

3.1.- Recomendaciones de Instalación	39
3.1.1.- Prevención de la Condensación y la Congelación	41
3.2.- Adhesivos	42
3.2.1.- Factores que influyen en su Elección	43
3.2.2.- Tipos de Adhesivos	44
3.3.- Pruebas de Materiales Aislantes	60
3.4.- Acabados	62
3.5.- Recomendaciones de Manejo	65
3.6.- Método para la Aplicación y Protección de Aislami- ento en instalaciones que funcionan por debajo de la temperatura ambiente, utilizando Aislamiento - Rígido.	67
3.6.1.- Aislamiento de Tuberías y Recipientes	68
3.6.2.- Aislamiento de Bridas, Válvulas y Montajes ..	71
3.7.- Aislamiento de una Instalación que funciona por- debajo de la temperatura ambiente, utilizando - Aislamiento de Espuma, aplicado en campo	77

	Pag
3.8.- Protección del Aislamiento Rígido	79
3.9.- Aislamiento de Recipientes utilizando Recubrimiento de Chapa Metálica	82
3.9.1.- Aplicación de la Chapa Metálica	82
3.9.2.- Aplicación del Aislamiento a base de Relleno - Suelto	83
3.10.- Aislamiento mediante Caja Fría	84
3.11.- Aislamiento al Vacío mediante Polvo	85
3.12.- Aislamiento Reflectivo para las necesidades Industriales	86
3.12.1.- Aislamiento Reflectivo en cuartos de almacenamiento fríos	89
3.12.2.- Aplicación	93
3.12.3.- Necesidades y Cotizaciones de Aislamiento ..	93
3.13.- Recomendaciones Finales	96
CAPITULO IV .- "ANALISIS PARA DETERMINAR EL ESPESOR ECONOMICO"	105
4.1.- El Aislamiento de Superficies Frías	105
4.2.- Criterio para el Diseño del Espesor de Aislamiento	105
4.2.1.- Flujo Térmico	106
4.2.2.- Flujo Térmico por Radiación	109
4.2.3.- Flujo Térmico por Convección	109
4.3.- Ejemplo: Cálculo del Flujo Térmico para las superficies frías	114
4.3.1.- Calculo de la Temperatura Externa del Aislamiento (T_2), y del Calor Ganado.	115

4.3.2.- Observaciones	PAG. 119
4.4.- Cálculo para Determinar el Espesor Económico ..	120
4.4.1.- Diseño	121
4.5.- Determinación del Espesor Económico	126
4.5.1.- Ejemplo	131
CAPITULO V .- "CONCLUSIONES"	143
APENDICE I.- "NOMENCLATURA DE UNIDADES"	147
APENDICE II.- "DEFINICIONES DE LOS TERMINOS DE AISLA- MIENTO TERMICO"	151
APENDICE III.- "TABLAS DE FABRICANTES, CON ESPESORES COMERCIALES DE AISLAMIENTO; ASI COMO CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE VARIOS - AISLAMIENTOS.	159

I N T R O D U C C I O N .

El acto de saber seleccionar y aplicar un aislamiento térmico en servicios a bajas temperaturas, implica necesariamente un conocimiento completo de las características y propiedades del material seleccionado.

Sin embargo, el estudio de los materiales aislantes aplicables a estos servicios, no se limita únicamente a ese tipo de conocimiento, presenta también importantes consecuencias económicas, las cuales; dependiendo de la selección de un material en particular redundarán en un mayor ahorro de combustible, con lo que disminuirán los gastos de operación en la planta.

De lo anterior se destaca que el uso del aislamiento térmico en plantas de proceso es necesario; básicamente por tres razones:

- a) Por Seguridad Industrial
- b) Por Condiciones de Proceso
- c) Por Conservación de Energía

En las bajas temperaturas se tienen severas condiciones de proceso, y es necesario mantener todas las variables del mismo sin alteraciones, con la ayuda del aislamiento térmico, se logra en gran parte este objetivo.

En la actualidad se le está dando una aplicación muy-

importante a los aislamientos térmicos, en los equipos de almacenamiento y conducción de líquidos criogénicos.

Entendiéndose por estos, aquellos líquidos que se encuentran a temperaturas muy bajas. Por lo regular, los líquidos criogénicos son gases como: Oxígeno, Nitrógeno, etc

Un proceso criogénico, utiliza bajas temperaturas, para producir un cambio físico (de Gas a Líquido); que se conoce como proceso de Licuefacción de Gases.

El hecho de seleccionar un aislamiento apropiado para su uso en bajas temperaturas, se restringe notoriamente, no por efectos externos como la corrosión o alguna otra causa, sino por los mismos cambios físicos de las propiedades de las sustancias utilizadas en esas condiciones.

El seleccionar el aislamiento, implica tener conocimientos de las propiedades mecánicas del mismo, así como --- las propiedades físicas de la sustancia a utilizar, este hecho influye grandemente en el diseño del equipo en general.

El hecho de seleccionar un aislamiento determinado, no implica que este sea el mejor en todos los casos. Se debe considerar el aislamiento de recipientes de almacenamiento; recipientes de transporte; líneas de transferencia etc.

Las bajas temperaturas provocan severos efectos en -- los materiales, afectan las propiedades mecánicas del aislamiento, lo cual representa un problema serio, que justifica ampliamente la necesidad de conocer profundamente el proceso de los servicios a bajas temperaturas, así como -- los aislamientos térmicos aplicables a dichos servicios.

CAPITULO I.

"GENERALIDADES".

1.1.- RADIACION.

Es un proceso en el cuál fluye calor desde un cuerpo a una alta temperatura, hacia un cuerpo de temperatura inferior; cuando estos están separados por un espacio que incluso, puede ser el vacío. Se presenta sin necesidad de un medio físico de transporte y sin que se eleve la temperatura del espacio entre ambos.

La cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante, depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Un cuerpo puede emitir energía radiante desde su superficie a una rapidéz dada por:

$$Q_r = \sigma A_1 T_1^4 \quad (1)$$

Esta ecuación muestra que cualquier superficie de un cuerpo a una temperatura superior al cero absoluto, radia-

calor a una rapidéz proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta.

1.2.- CONVECCION.

Se presenta por la acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía, y movimiento de mezcla.

Tiene gran importancia entre una superficie sólida y un líquido y un gas.

El mecanismo de convección se realiza cuando un fluido en contacto con un foco de calor, recibe el flujo de calor, y eleva su temperatura disminuyendo su densidad, por lo cual se desplazará dejando lugar a que el fluido con menor temperatura ocupe el volumen dejado y reciba el calor del foco caliente, provocando un flujo contínuo, denominándosele Convección Natural.

Si por algún medio externo, se provoca una mayor velocidad de desplazamiento, se aumentará la transmisión de calor denominándosele Convección Forzada.

La rapidéz de calor transferido por convección entre una superficie y un fluido puede calcularse por la relación:

$$Q_c = h_c A \Delta T \tag{2}$$

1.3.- CONDUCCION.

Es un flujo de calor a nivel molecular, dentro de la estructura de la materia en fase sólida, también se puede expresar como un mecanismo de transferencia de energía -

electrónica entre átomos adyacentes dentro de la estructura de un cuerpo sólido desde un punto de mayor temperatura a otro punto más frío.

Este mecanismo se presenta en las paredes del recipiente y en el material aislante con que se recubre, y es la razón por la cual se seleccionan materiales de muy baja -- conductividad térmica para que ofrezcan alta resistencia -- al flujo de calor.

La conducción es el único mecanismo por el cual puede fluir calor en sólidos opacos. La conducción es también importante en fluidos, pero en medios no sólidos, está generalmente combinada con la convección, y en algunos casos -- también con la radiación.

La ley que rige éste mecanismo establece que:

$$Q_k = -k A \Delta T/dL \quad (3)$$

1.3.1.- CONDUCCION A TRAVES DE UNA PARED PLANA.

Para el caso simple de flujo de calor a través de una pared plana se tiene

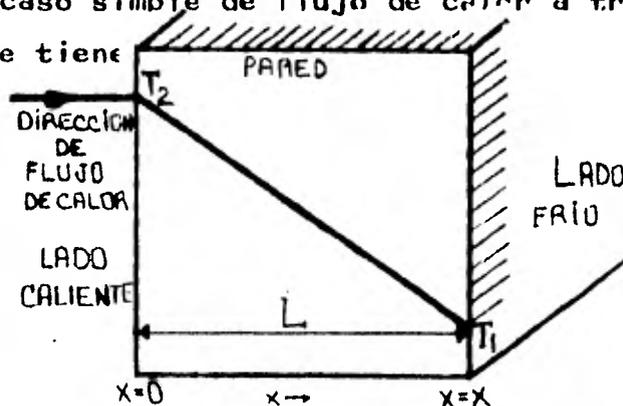


Figura 1.1.- CONDUCCION A TRAVES DE UNA PARED PLANA .

De la figura anterior tenemos que:

$$Q = \frac{k A}{L} \Delta T \quad (4)$$

En donde:

$$C = \frac{k A}{L} \quad \text{Representa la Conductancia Térmica}$$

Por lo que:

$$Q = C \Delta T$$

Y su recíproco:

$$R = L / k A \quad \text{La Resistencia Térmica.}$$

Entonces:

$$Q = \Delta T / R$$

Esta última ecuación, es de interés cuando se trata de una pared compuesta de diferentes materiales. La figura 1.2, representa el flujo de calor a través de la misma.

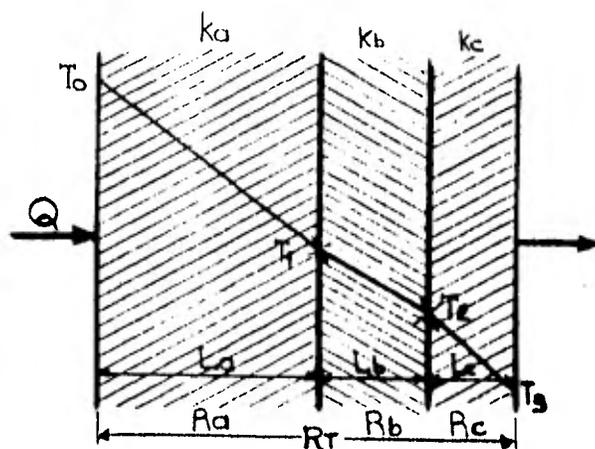


Figura 1.2.- FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE UNA PARED COMPUESTA.

El flujo de calor en su trayectoria debe vencer las resistencias que presentan los distintos materiales de que se compone la pared. En estado estable, el calor que entra debe ser el mismo que sale por la cara opuesta, entonces:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{\Delta T_a}{R_a} = \frac{\Delta T_b}{R_b} = \frac{\Delta T_c}{R_c}$$

En general, para cualquier sistema compuesto en el que se manejen temperaturas reales:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_i - T_n}{L_i/k_iA + L_n/k_nA} = \frac{T_i - T_n}{\sum_{n=1}^n R_n} \quad (5)$$

1.3.2.- FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA PARED DE UN TUBO.

Considérese un cilindro hueco, y recto como se muestra en la siguiente figura.

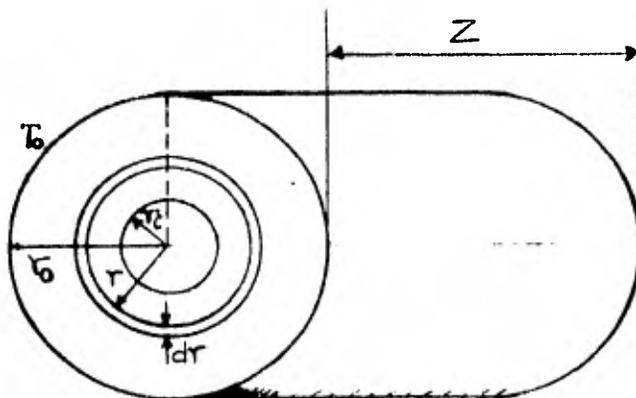


Figura 1.3.- FLUJO DE CALOR A TRAVES DE UN CLINDRO HUECO Y RECTO.

La transferencia de calor para cilindros huecos y rectos, como por ejemplo un tubo; viene expresada por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(T_i - T_o) 2\pi Z k}{\ln(r_o/r_i)} = \frac{(T_i - T_o) 2\pi Z k}{\ln(d_o/d_i)} \quad (6)$$

En esta ecuación se observa que, la temperatura es una función logarítmica, mientras que para una pared plana es una función lineal.

La resistencia térmica del cilindro hueco es:

$$R = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi Lk} = \frac{\Delta T}{Q}$$

Entonces:

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

Ecuación que también es aplicable a cilindros de paredes compuestas. Considérese la siguiente figura que muestra la sección transversal de un tubo y su aislamiento.

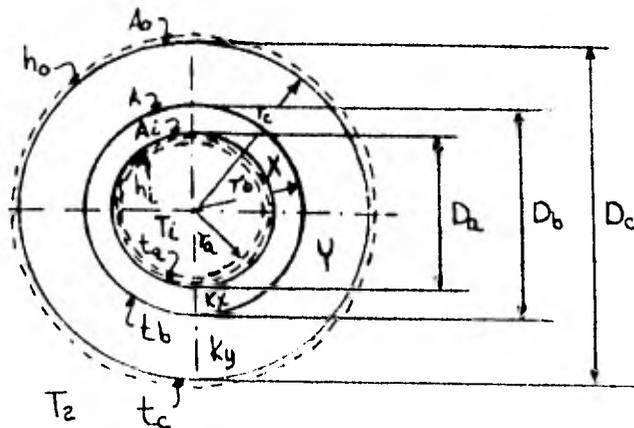


Figura 1.4.- TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVES DE UN TUBO Y SU AISLAMIENTO.

La expresión general de transferencia de calor para cualquier número de cilindros compuestos (TUBO Y SUS AISLAMIENTOS) viene dada por:

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum 1/Ah + \sum \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi Zk}} = \frac{\Delta T}{\sum R} \quad (7)$$

1.2.- AISLAMIENTO TERMICO.

Un aislante, es un material de muy baja conductividad térmica, es realmente un soporte mecánico en el que se tienen pequeñas celdas de aire o gas, siendo necesario para su conformación el uso de aglutinantes, que le den consistencia y resistencia mecánica.

Un sistema de aislamiento, está constituido básicamente, por un material aislante, sus accesorios de sujeción y su cubierta de protección, y además está diseñado especialmente para ofrecer alta resistencia al paso del calor.

Existe una relación entre la Conductividad Térmica -- del aislante y su densidad; relación que se muestra en la figura 1.5.

En donde el punto de inflexión de la curva, se debe básicamente a la porosidad del material, que provoca que exista transmisión de calor a través del material. La figura 1.6, muestra un corte amplificado de un aislamiento.

Para elegir un aislamiento, se deben considerar los siguientes factores de selección:

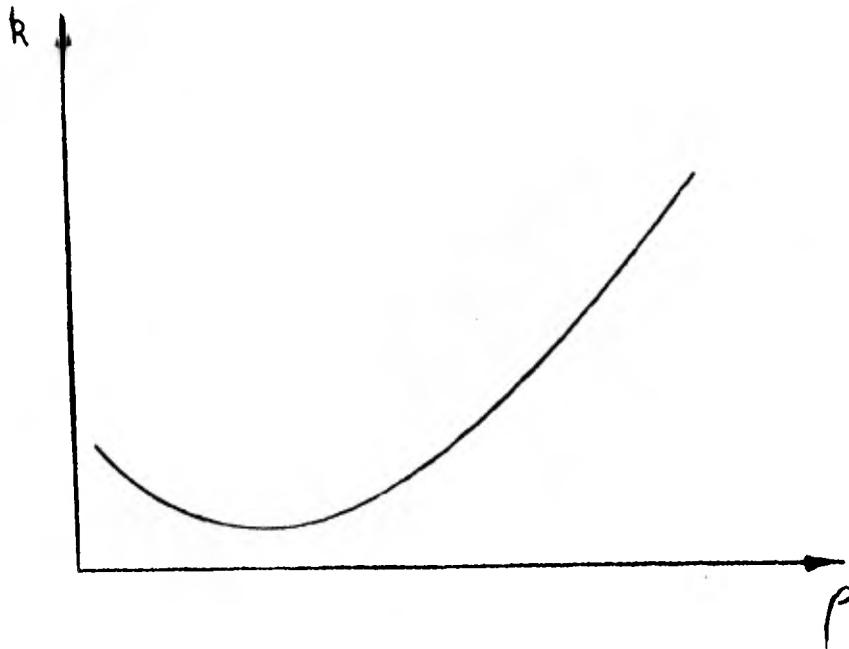


Figura 1.5.- CONDUCTIVIDAD VS. DENSIDAD DE UN AISLAMIENTO.

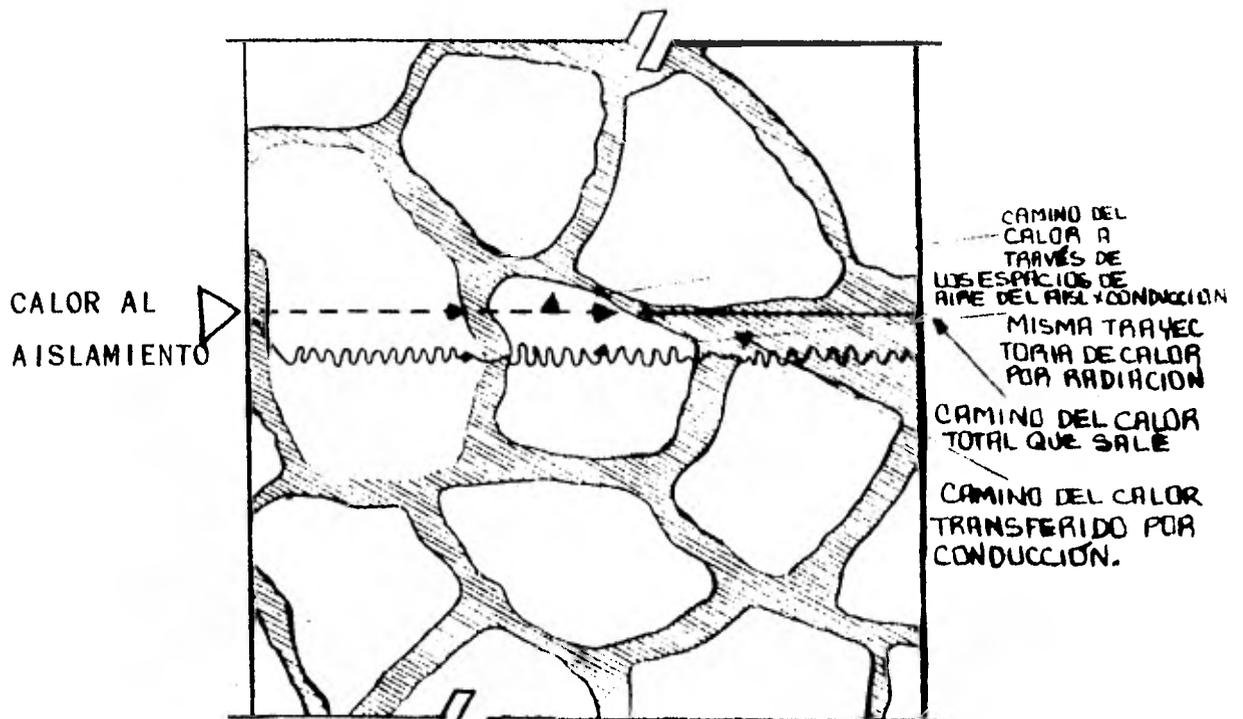


Figura 1.6.- FLUJO DE CALOR A TRAVES DEL AISLAMIENTO.

- a) Conductividad Térmica
- b) Densidad
- c) Comportamiento a Esfuerzos Mecánicos
- d) Estabilidad Dimensional
- e) Combustibilidad
- f) Propiciación de Microorganismos.
- g) Corrosividad
- h) Temperatura límite de trabajo
- i) Forma de manejo, Almacenamiento y colocación

Dependiendo del servicio se clasifican como:

- 1.- Aislamientos para Bajas Temperaturas
- 2.- Aislamientos para Altas Temperaturas

1.3.- RAZONES POR LAS QUE SE UTILIZA AISLAMIENTO TÉRMICO.

Son tres las razones por las que se emplea éste en -- plantas de proceso:

a) POR ECONOMIA: Tomando en cuenta que tanto calentar como enfriar cuesta dinero y que en proporción, es ocho veces más caro enfriar que calentar, se puede comprender que; el aislar con objeto de ahorrar energía es muy importante y más ahora con la crisis de energéticos.

Como se puede apreciar a medida que aumenta el espesor de aislamiento, se pierde menos calor, sin embargo es necesario equilibrar los costos del espesor con la ganancia de calor con objeto de determinar el espesor óptimo, para ahorrar la mayor cantidad de energía al menor costo posible, así tendremos una gráfica como la siguiente:

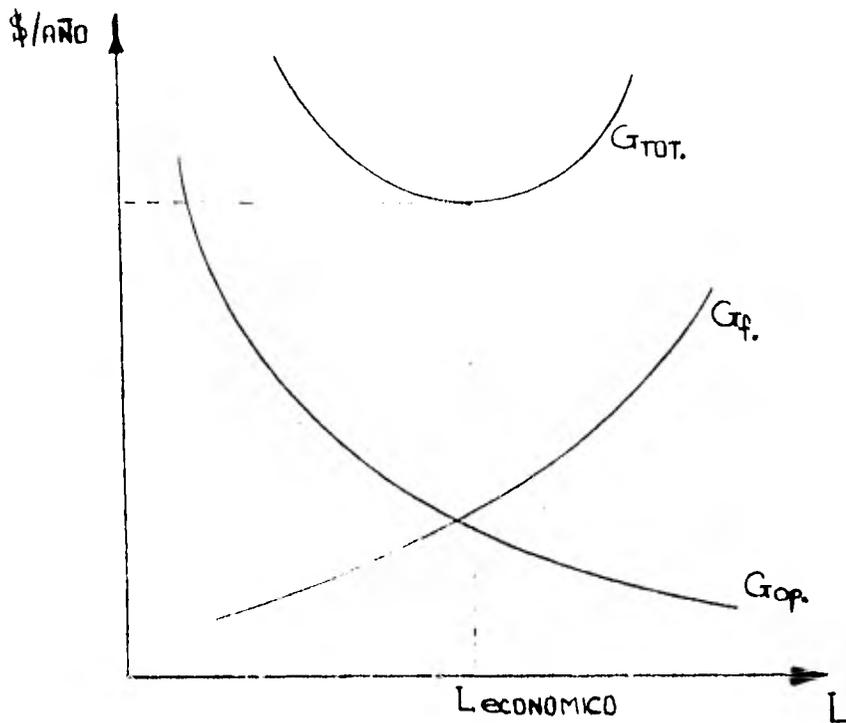


Figura 1.7.- GRAFICA ECONOMICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR ECONOMICO DE AISLAMIENTO.

Desde el punto de vista económico, al aumentar el espesor aumenta la inversión, en el punto de inflexión al integrar las curvas: (Gastos de Operación, Gastos Fijos, y - Gastos totales); se tendrá el espesor óptimo.

El costo de la transmisión de calor, toma en cuenta - el interés anual, la amortización, el mantenimiento anual - y los seguros, como un porcentaje del costo del combustible.

b) POR CONDICIONES DE PROCESO: Hay determinados puntos en un proceso en los cuales lo más importante es mantener las condiciones lo más rigurosamente posibles para una buena - calidad del producto, o conversión óptima de reactivos en - productos. Cuando éste es el caso, muchas veces el espesor

requerido rebasa a el económico y en tal caso lo que gobierna es el proceso.

c) POR SEGURIDAD INDUSTRIAL: Como es bien sabido, las plantas de proceso y refinación constan de una serie de operaciones y procesos unitarios que permiten obtener productos terminados con un cierto grado de pureza a partir de materias primas, y esto implica necesariamente la creación de medios adecuados al proceso, que involucren cambios de presión, temperatura y composición de los materiales; esto implica una generación, transformación y transferencia de energía, y por consiguiente una serie de riesgos potenciales a los operadores que laboran en el área, y que deberán ser cubiertos.

El incremento de Horas-Hombre-Perdidas por concepto de incapacidades se eleva grandemente cuando el índice de accidentes es grande.

1.4.- CLASIFICACION POR SUS CARACTERISTICAS FISICAS.

- | | |
|----------------|--|
| | 1.- Perlita Expandida, aglutinada con Silicato de Sodio o con material-cerámico. |
| a) GRANULARES. | 2.- Vermiculita Exfoliada |
| | 3.- Aglutinado de Tierras Diatomáceas con Silicato de Sodio. |
| | 4.- Perlita aglutinada (Loose-Fill) |
| | 1.- Fibra de Vidrio |
| b) FIBROSOS | 2.- Lana Mineral |
| | 3.- Fibra de Asbesto |

- c) ESPUMOSOS
 - 1.- Poliuretano
 - 2.- Poliestireno
 - 3.- Vidrio Celular
 - 4.- Espumas de PVC

- d) MONOLITICOS
 - 1.- Cementos de Unión y acabados
 - 2.- Mastiques

- e) REFLECTIVOS
 - 1.- Paredes Metálicas pulidas de - alta reflectividad;

1.5.- NORMAS APLICABLES A LAS BAJAS TEMPERATURAS.

Marcan las directrices a seguir para poder aplicar un aislamiento correctamente. Las Normas en estudio son:

- a) Especificación L-203: "Materiales y su aplicación para aislamiento térmico en sistemas de baja temperatura". Del Instituto Mexicano del Petroleo.
- b) Norma 2.616.02 : "Aislamientos Térmicos para Baja Temperatura". De Petroleos Mexicanos.

El objetivo de las mismas, es definir los materiales que debén usarse para aislamiento de recipientes, equipo y tubería en sistemas de baja temperatura, además de describir los métodos adecuados de su aplicación.

Contemplan los requerimientos generales para el diseño y aplicación del aislamiento. Como tales, incluyen las definiciones y terminología empleada para el caso.

Como frontera de aplicación se define la temperatura de 35 °C y menores.

Ya en la práctica se deben seguir las indicaciones de

las mismas, a menos que se indique otra cosa. Además es importante el empleo y uso de estas siempre y cuando exista confusión en cuanto a las recomendaciones del fabricante, -prevalecerá lo establecido en ellas.

Respecto a el diseño de aislamiento, se mencionan los conceptos básicos de transferencia de calor, requisitos en cuanto a soportería y algún posible cambio de material aislante. La parte referente a tablas, contiene información - de espesores de aislamiento, aplicación a equipo del mismo fabricantes, materiales de acabado, y dibujos ilustrativos

C A P I T U L O I I .

"DESCRIPCION DE LOS AISLANTES TERMICOS UTILIZADOS EN LAS BAJAS TEMPERATURAS".

2.1.- IMPORTANCIA DEL AISLAMIENTO.

La importancia del aislamiento como mecanismo atenuador de la transmisión del calor, se manifiesta cuantificando la magnitud de pérdidas que se tienen en sistemas de tuberías y recipientes sin aislamiento; en relación con las relativamente despreciables, de aquellos sistemas propiamente aislados.

Esto se ilustra en la figura 2.1, en la cual la curva superior muestra las pérdidas de calor en superficies de tubería desnudas; la curva inferior corresponde a superficies de tubería aisladas. El área entre ambas curvas representa el ahorro que se obtiene utilizando aislamiento.

Aparte de el ahorro por concepto de combustible, el aislamiento térmico proporciona otras ventajas; tales como el control de la temperatura en líneas de conducción, control de la ganancia de calor; reducción de posibles fallas en conexiones, creación de condiciones de trabajo más confortables, además de optimizar el proceso.

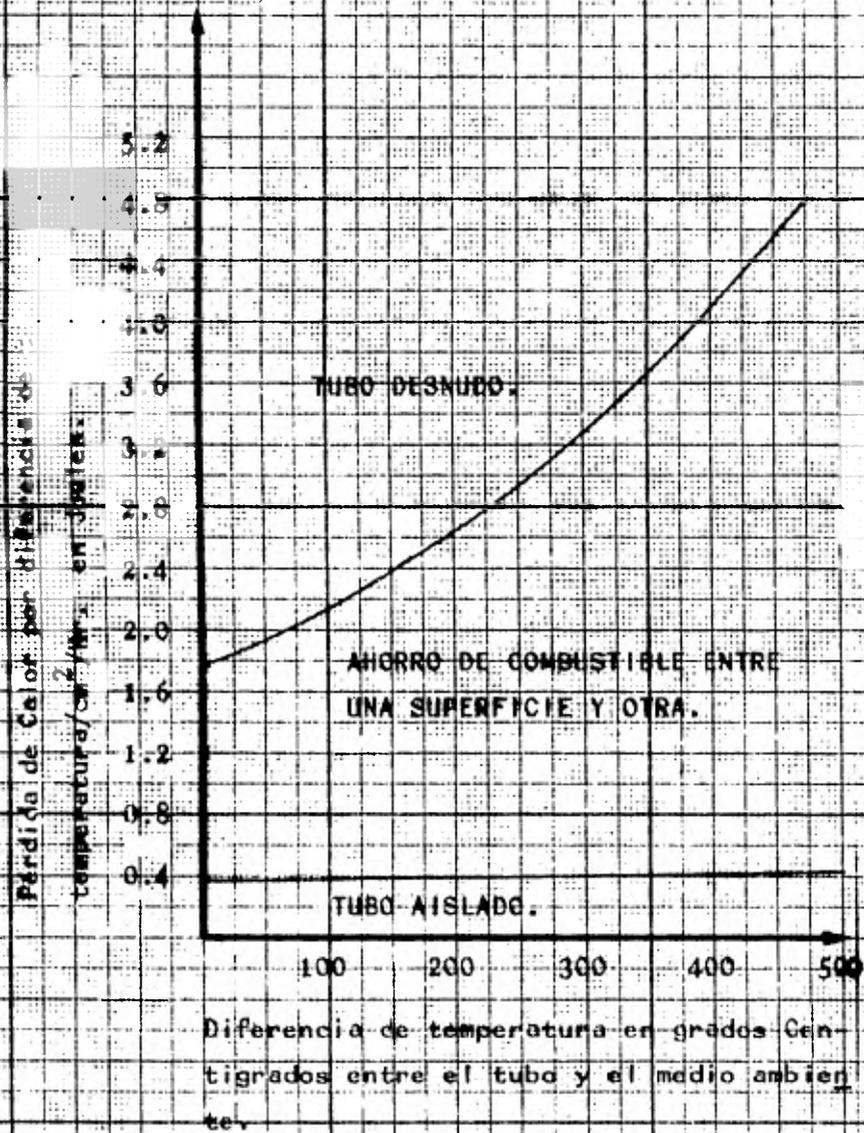


Figura 2.1. - Pérdida de Calor en Tuberías Desnudas y en Tuberías Aisladas.

Propiamente aplicado proporciona una operación efectiva, abatiendo los costos de operación. Una cuidadosa selección del material aislante, debe ser una inteligente decisión.

2.2.- TIPOS, PROPIEDADES Y CLASIFICACION.

a) GRANULARES: Engloba los materiales constituidos por gránulos que están unidos permanentemente, por lo que no encierran bolsas de aire en ellos. En esta clasificación se incluyen todos los materiales del tipo "pulvuriento"

El movimiento de aire en ellos, es lento a consecuencia de la disposición de los gránulos. La presentación comercial de estos es en placa o preformados rígidos (medias cañas). A continuación se mencionan características de aislantes de este grupo.

I.- PERLITA EXPANDIDA: Es de estructura porosa y soluble en agua, presenta buena resistencia mecánica de compresión.

El ser soluble en agua le da características corrosivas.

II.- PERLITA EXPANDIDA CON AGLUTINANTE CERAMICO: Posee una conductividad térmica ligeramente menor que la de la perlita común. Comercialmente se le denomina "Goodtemp".

III.- VERMICULITA EXFOLIADA: Se utiliza como aglutinante más que como aislante, en forma de cemento aislante, ya sea seco o en pasta; su apariencia es la de una superficie lisa, se encuentra en forma de mica.

Su exfoliado consiste en un proceso de separación de las láminas de mica formando pequeños libros, permitiendo la formación de celdas de aire para su aglutinado y moldeado.

b) FIBROSOS: Estos materiales son los más versátiles, pues los hay rígidos, semirígidos, y flexibles; su principal limitante es la temperatura de operación. Algunos ejemplos de aislantes de este grupo son:

1.- FIBRA DE VIDRIO: La baja conductividad térmica, incomburencia y características inertes, convierten a la fibra de vidrio en un buen aislante. Como el agua no puede transmitarse ni ser absorbida por el vidrio, los aislantes de fibra de vidrio preformados son excelentes cuando se encuentran disponibles con Barrera de Vapor.

La fibra de vidrio se obtiene a partir de arena fundida; existen gran variedad de productos dependiendo de el uso, el diámetro de la fibra varía normalmente de uno a 15 micrones.

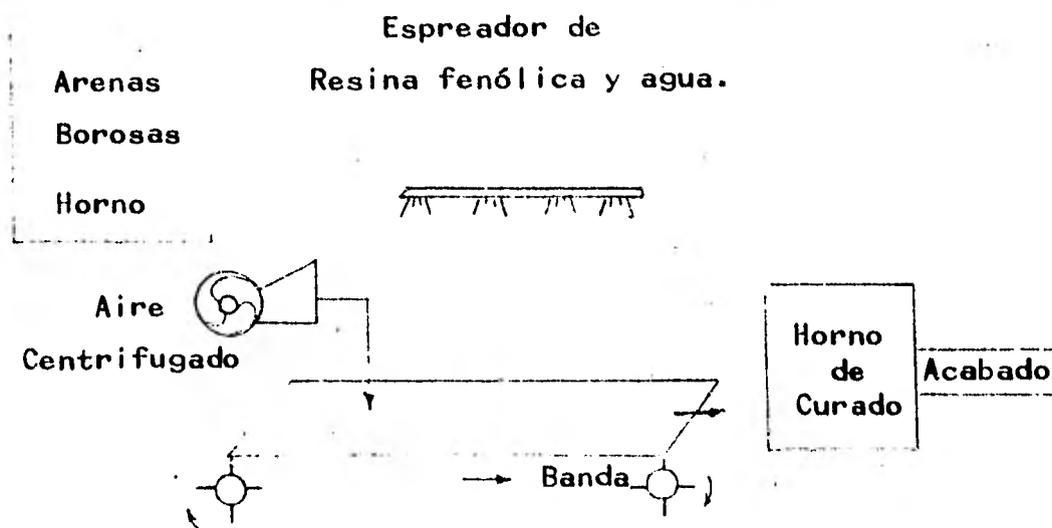


Figura 2.2.- Fabricación de la Fibra de Vidrio

El aislamiento de Vidrio Celular, está fabricado de -

miles de burbujas de vidrio moldeadas dentro de una estructura rígida extremadamente ligera. Este material posee un rango de temperatura de -212 a 427 grados Centígrados; se encuentra disponible en bloque y preformado para tubo.

II.- LANA MINERAL: Se fabrica de sustancias minerales tales como: roca, escorias o vidrio; procesados en su estado de fusión para producir fibras. Dichas fibras deben ser aglutinadas con un material orgánico.

Supresentación comercial es en forma de bloque y placa en estado rígido o semi-rígido. Su límite de temperatura de servicio es de 982 grados centígrados. Clasificándose según su temperatura máxima de servicio en:

Clase 1 hasta: 204°C

Clase 2 hasta: 214°C

Clase 3 hasta: 454°C

Clase 4 hasta: 538°C

Clase 5 hasta: 982°C

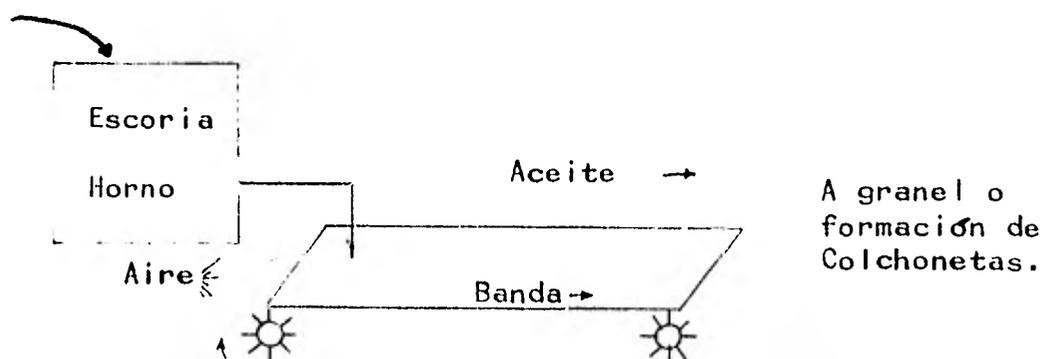


Figura 2.3.- Elaboración de la Lana Mineral.

c) ESPUMOSOS: Son producto de una reacción química

con freones (fluoruro de carbono), o CO_2 , (bioxido de Carbono), como espumador y monómero de estireno, como inhibidor, por sus características de celda cerrada se recomienda para las temperaturas bajas. Su principal desventaja es que es combustible.

A temperaturas cercanas a 94°C , sufren degradación - por lo que no es aconsejable en servicios a alta temperatura. A continuación se mencionan algunos tipos característicos de este grupo.

I.- POLIESTIRENO CELULAR: Está compuesto de resinas de estireno polimerizado, formando una masa celular homogénea y rígida. Su presentación comercial es en forma de "medias-cañas" moldeadas, bloques y placas. Clasificandose según su densidad en:

Tipo I: Densidad hasta 24 Kg/m^3	Gr I: Combustible.
	Gr II: Autoextinguible
Tipo II: Densidad mayor a 24 Kg/m^3	Gr I: Combustible
	Gr II: Autoextinguible

II.- POLIURETANO CELULAR: Está compuesto de poliisocianatos reaccionados con compuestos polihidróxidos y expandido con fluoruro de carbono como agente gaseoso. Su presentación comercial es en forma de "cañas" moldeadas y de bloques.

Clasificandose según su densidad en:

Tipo I: Densidad menor a 27.2 Kg/m^3	Gr I: Combustible
	Gr II: Autoextinguible
Tipo II: Densidad comprendida entre 27.2 Kg/m^3 y 39.9 Kg/m^3	Gr I: Combustible
	Gr II: Autoextinguible
Tipo III: Densidad comprendida entre 40.0 Kg/m^3 y 64.1 Kg/m^3	Gr I: Combustible
	Gr II: Autoextinguible

III.- VIDRIO CELULAR: Consta de compuestos de vidrio de alta durabilidad, procesados por fusión para formar una masa celulosa homogénea y rígida, las células deben estar selladas herméticamente. La presentación comercial es en placa y preformado.

IV.- ESPUMAS DE P.V.C.: Su presentación es similar a las espumas de estireno o de uretano, con la característica de que éstas, son incombustibles. A diferencia de los demás plásticos espumados.

d) MONOLITICOS: Como los cementos y mastiques, sirven para sellar las uniones; formar barreras de vapor y dar acabados a los aislantes.

e) REFLECTIVOS: Están constituidos por láminas metálicas pulidas y tratadas para conservar su alta reflectividad, de diseños especiales que les dan características de flexibilidad que permite absorber contracciones y expansiones por temperatura.

El material separador entre las láminas puede ser: madera, fibra de vidrio, fibra de nylon, polvos opacadores - tales como la perlita etc; o el poliestireno.

Las conductividades térmicas pueden tener valores del orden de 1/5 respecto a conductividades de los mejores aislantes convencionales bajo las mismas condiciones.

Su diseño tiene la forma de "sandwich" de metal y material separador con separaciones de 2 milésimas de centímetro hasta 8 cien milésimas de centímetro. Actualmente su alto costo los hace incompetitivos y su uso se restringe a servicios Criogénicos.

Pueden fabricarse de aluminio, acero inoxidable, de -

cobre, oro, cadmio, plomo, níquel, bronce etc. Dependiendo del servicio y las condiciones de operación. También se les conoce como "superaislantes", ya que su conductividad térmica total, alcanza valores entre 1/10 y 1/50 de la que poseen los aislamientos convencionales para bajas temperaturas.

El aluminio es el metal más comúnmente usado en este tipo de aislamientos. El aislamiento térmico reflectivo, debe ir sellado de el lado externo o de alta temperatura con objeto de proveer una barrera de vapor para prevenir la Condensación y la Humedad.

Este tipo de aislamiento no ha sido usado en gran escala en tuberías debido a las dificultades presentadas para aplicar el sello de vapor en conexiones y accesorios. Sin embargo existe un método, el cual se explicará en otra sección. A continuación se presentan varias tablas con las características principales de estos materiales aislantes.

2.3.- CONSIDERACIONES PREVIAS PARA SELECCIONAR Y APLICAR LOS AISLAMIENTOS.

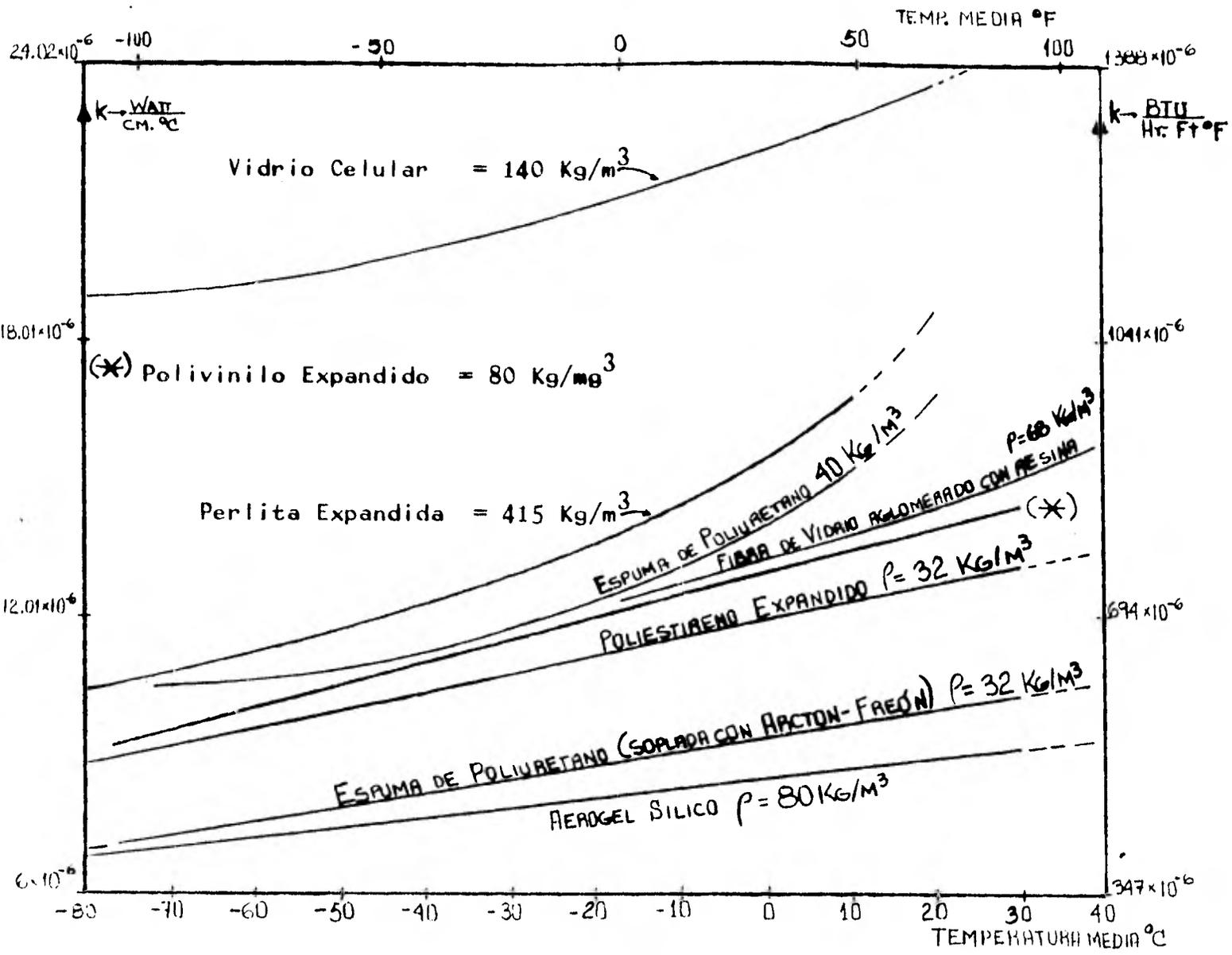
2.3.1.- CLASIFICACION POR TEMPERATURA DE OPERACION:

Los materiales aislantes, pueden aplicarse en determinados rangos de temperatura según se ve en la siguiente tabla:

TABLA 1.- MATERIALES RECOMENDADOS POR TEMPERATURA DE OPERACION.

RANGO DE TEMPERATURA °C	AISLANTE
0 a 232 °C	a) Fibra de Vidrio aglutinada.

Fig. 2.4. - VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA CON LA TEMPERATURA DE ALGUNOS MATERIALES AISLANTES.



MATERIAL		DENSIDAD	Reflectores	Temperatura de	Temperatura de	Conductividad
REFLECTOR	AISLANTE	Kg /m ³	por cm	Superficie Fría °K.	Superficie Caliente °K	R → $\frac{\text{Watts}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$
MYLAR	Fibra de Vidrio de 0.508 mm	80.09	102	77.4		48×10^{-5}
MYLAR	PERLITA	---	142	✓		74.4×10^{-6}
✓	✓	59.27	---	75.7		20.8×10^{-6}
✓	✓	96.11	---	✓		18.2×10^{-6}
✓	✓	139.36	---	75.7		10×10^{-6}
HOJUELAS DE COBRE	AEROGEL SILICO	176.20	---	---		3.81×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0254 mm. DE ESPESOR	Fibra de Vidrio de 0.0254 mm de espesor	208.23	153	77.4		254×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0127 mm. DE ESPESOR	Fibra de Vidrio de 0.127 mm de espesor Perlita (Carbon Silico)	304.35	✓	✓		84.8×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0508 m. m. DE ESPESOR	de 0.508 mm. de espesor Fibra de Vidrio AA. de 0.508 mm de espesor	384.44	102	✓		509×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0127 mm DE ESPESOR	Fibra de Vidrio de 0.0508 mm de espesor	256.23	102	✓		322×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0127 mm DE ESPESOR	DEXTER DE 0.127 mm. DE ESPESOR	320.36	102	✓		138×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0127 mm. DE ESPESOR	DE 0.127 mm. DE ESPESOR	112.12	127	✓		51.9×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0127 mm. DE ESPESOR	FIBRA DE VIDRIO AA. DE 0.508 mm. DE ESPESOR.	112.12	127	20.22		41.5×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0127 mm. DE ESPESOR	FIBRA DE VIDRIO AA. DE 0.508 mm. DE ESPESOR.	---	132	77.4		230×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0127 mm. DE ESPESOR	FIBRA DE VIDRIO AA. DE 0.508 mm. DE ESPESOR.	---	198	✓		32.9×10^{-6}

MATERIAL		DENSIDAD	Reflexión	Temperatura de Superficie fría °K	Temperatura de Superficie Caliente °K	Conductividad Térmica $k \rightarrow \frac{Watt}{cm \cdot s}$
REFLECTOR	AISLANTE	Kg / m ³	por cm			
" " "	FLORA DE VIDRIO	40.04	38	89.66		190×10^{-6}
✓	✓	75.28	153	✓		43.3×10^{-6}
Laminillas de aluminio de 0.0058 mm. de espesor	Dexter de 0.2032 mm. de espesor	120.13	140	75.7		0.606×10^{-6}
LAMINILLAS DE ALUMINIO DE 0.0076 mm. DE ESPESOR.	DEXTER DE 0.2032 mm. DE ESPESOR.	---	132	77.4		446×10^{-6}
		120.13	140	77.4		55.4×10^{-6}
		✓	✓	20.2		39.8×10^{-6}
		✓	122	77.4		111×10^{-6}
		94.5	132	✓		151×10^{-6}
		---	135	✓		69.2×10^{-6}
Laminillas de aluminio de 0.0127 mm. de espesor	Nylon de 0.1651 mm. de espesor.	89.70	203	✓		2.281×10^{-6}
	Aerogel Silico	96.11	---	✓		20.76×10^{-6}

TABLA I.- C O N T I N U A C I O N .

RANGO DE TEMPERATURA °C	AISLANTE
0 a 232 °C	b) Lana Mineral aglutinada c) Perlita Expandida aglutinada d) Vidrio Celular (Foamglass)
de -73 a 0 °C	a) Poliuretano b) Poliestireno c) Vidrio Celular d) Fibra de Vidrio
-73 °C y mayores	a) Perlita Expandida b) Fibra de Vidrio c) Espumas Sólidas
-73 °C y menores	a) Reflectivos

2.3.2.- FORMA FISICA DEL AISLAMIENTO: En la práctica los materiales de aislamiento, se identifican de acuerdo a la siguiente clasificación por su forma física:

a) TROZOS DE TUBO RIGIDO: Constituidos por piezas cilíndricas preformadas, seccionadas a lo largo de su longitud para facilitar su acoplamiento y montaje. La superficie interna debe adaptarse a el diámetro exterior de la tubería. - La superficie externa del aislamiento puede cubrirse con algún material de acabado.

- b) PLACAS RIGIDAS: Normalmente son piezas rectangulares redondas o planas que pueden cubrirse con distintos materiales.
- c) RELLENO SUELTO: Lo componen materiales que pueden empaquetarse dentro de un alojamiento rígido.
- d) COLCHONETA FLEXIBLE: Se suministra normalmente en forma rectangular, se puede aplicar a superficies irregulares --tales como las superficies curvas.
- e) BANDAS FLEXIBLES: Son de naturaleza fibrosa, se enrollan alrededor de la tubería, en forma de vendajes.
- f) PLASTICOS: Se suministran en estado plástico, pueden trabajarse, moldearse, o proyectarse en la forma que se --desee. Algunos de estos materiales pueden pulverizarse o --espumarse, quedando el acabado en forma rígida.

2.3.3.- PROPIEDADES:

- 1.- MAXIMA TEMPERATURA ADMISIBLE EN EL LADO CALIENTE: Especifica la máxima temperatura a que el aislamiento puede someterse sin peligro. Debe tenerse en cuenta que el empleo de un material puede quedar limitado a causa de su contracción excesiva, de su descomposición térmica, de su fusión--etc.
- 2.- COMPOSICION O NOMBRE POPULAR: Es el nombre comercial --del aislante.
- 3.- ESTRUCTURA
- 4.- DENSIDAD: Es la densidad aproximada en la forma que se aplica.
- 5.- CONDUCTIVIDAD TERMICA: Es generalmente el valor promedio y función de la temperatura específica. Esta propiedad influye en el espesor del aislamiento.

6.- EL COSTO DEL AISLANTE: El precio del material se determina en base a lo siguiente:

- a) Metros cuadrados, y centímetros de espesor.
- b) Longitud y espesor de tubería o equipo.
- c) Por Kg. de relleno suelto y material plástico.

7.- ABSORCION DEL AGUA: La absorción provoca el fallo y disminuye la eficiencia del aislamiento.

8.- PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: Indica las características que el material posee para permitir la transmisión del vapor de agua por difusión.

9.- RESISTENCIA: A la transmisión del vapor de agua, a la inflamabilidad, al deterioro mecánico etc.

10.- CALOR ESPECIFICO: Particular para cada aislamiento

11.- TEMPERATURA DE LADO FRIO.

12.- DILATACION Y CONTRACCION TERMICA: Con la variación de la temperatura, los materiales aislantes se dilatan o contraen. En determinados materiales puede resultar necesario disponer de juntas de dilatación/contracción, y en donde se apliquen dos o más capas de un mismo aislamiento; se utilizará un adhesivo que permita desplazamientos laterales.

13.- ESPESOR DE AISLAMIENTO: Se determina en base a las siguientes consideraciones:

- a) Limitación de la Condensación superficial
- b) Máxima Ganancia de Calor admisible
- c) Espesor Económico

14.- RESISTENCIA MECANICA: Es un factor importante cuando el material aislante puede quedar sometido al impacto o a una carga concentrada, o a una presión continua.

15.- RECUBRIMIENTOS PROTECTORES: Deben tomarse las precauciones necesarias, para asegurarse que el recubrimiento sea compatible con el material aislante.

16.- PELIGROS CONTRA LA SALUD: Previenen todo tipo de emanaciones que puedan resultar nocivas a la salud.

De las propiedades anteriores, una de las más importantes; es la Conductividad Térmica.

Mide la cantidad de calor transmitido, en la unidad de tiempo y por unidad de área, existiendo una diferencia de temperaturas entre las superficies del sistema y el aislamiento. Es una propiedad específica de cada material, y un promedio; no una cantidad predeterminada. Es función de los siguientes parámetros:

- a) Temperatura
- b) Densidad
- c) Configuración del Aislamiento
- d) Dirección del Flujo de Calor
- e) Capacidad de Absorción de Humedad.

La Humedad afecta notablemente a los materiales aislantes, pues incrementa notablemente la conductividad térmica en aproximadamente 25 veces más que en una atmósfera seca.

La Resiliencia, también es una propiedad que influye en las características del aislamiento. Todos los aislamientos tienen un cierto grado de ella; por lo que es importante mantenerlos a bajas temperaturas.

La resiliencia le permite a el aislamiento expandirse cuando el recipiente o la tubería está fría y contraída.

La importancia de la resiliencia de un aislante estri

ba en la capacidad que pueda tener este en mayor o menor - grado para absorber las contracciones o expansiones de recipientes y tuberías.

2.3.4.- CONCLUSION:

Las bajas temperaturas imponen severos efectos en los aislamientos, de tal modo que las propiedades de estos se ven afectadas. Debido a las bajas temperaturas, el aislamiento puede resentir fallas y tornarse quebradizo.

La correcta evaluación de el Espesor Optimo de Aislamiento, puede evitar condensaciones, enfriamientos, solidificaciones del producto, o en general daños al sistema.

Por experiencia se ha determinado que la eficiencia - de un sistema de aislamiento; depende de la forma en la cuál el material se selecciona y aplica.

Entonces, el empleo del aislamiento adecuado, disminuirá al máximo el costo de energía a utilizar; así como - también amortizará a corto plazo el costo de inversión por concepto de aislamiento.

2.4.- LA BARRERA DE VAPOR.

La presión de vapor en una superficie fría aislada, - es más baja que la del ambiente sobre el lado caliente del aislamiento. Es por esta razón que la humedad tiende a penetrar en el aislamiento y migrar hacia la superficie fría ocasionando los siguientes efectos:

- a) Aumenta la conductividad térmica del aislamiento, disminuyendo de esta forma la eficacia del material como aislamiento.
- b) Puede acortar la duración útil del aislamiento.
- c) La humedad se helará si la superficie fría está por de-

bajo del punto de congelación, y por último ocasionará la ruptura del aislamiento.

d) Puede producirse la corrosión de la tubería o recipiente aislado.

Algunas veces resulta posible emplear un material aislante que tenga una baja velocidad de transmisión del vapor húmedo, pero en cualquier caso; resulta esencial disponer de un sellador del vapor, y para que el aislamiento -- resulte impermeable. Normalmente habrá uniones que requerirán una protección auxiliar.

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.- PERMEANCIA: De 0.2 a 0.001 Perms máximo
- 2.- HERMETISMO O CONTINUIDAD.

La siguiente tabla muestra la permeabilidad de algunos aislantes:

TABLA II.- PERMEABILIDAD DE ALGUNOS AISLAMIENTOS.

MATERIAL	PERMEABILIDAD
1.- Vidrio Celular	0.00 Perms
2.- Lana Mineral	100-200 Perms
3.- Espuma de Poliestireno	1-4 Perms
4.- Espuma de Uretano	0.3-6 Perms

Existen barreras de vapor prefabricadas (PYROVIT), para tuberías; y elaboradas en campo a base de masticque --

(emulsión asfalto-aromática).

El Pyrovit está formado por papel, asfalto y hojas de aluminio. Cuando la barrera de vapor se da con mastic en el campo, esta se puede aplicar con brocha o por aspersión.

La figura 2.5, ilustra detalles de instalación de barreras de vapor en campo.

Una mala aplicación, que deje un orificio es suficiente para destruir el aislamiento. Si el agua ocupa las cavidades del poro del aislante, modificará su conductividad térmica, perdiendo sus características aislantes. Los materiales de que se elabora, pueden agruparse en 6 categorías

a) COMPUESTOS BITUMINOSOS: El asfalto, constituye un excelente material sellante del vapor, puesto que su permeabilidad al vapor de agua es mínima. Pueden aplicarse 2 capas a brocha de un espesor de 1.6 mm. Con algunos productos la segunda capa también proporciona una buena protección mecánica, pero en todos los casos deben seguirse las instrucciones del fabricante.

b) HOJAS PLÁSTICAS: Estos selladores se componen de hojas plásticas (por ejemplo de poliisobutileno), de tejido revestido con PVC que puede enrollarse alrededor del aislamiento.

Debe aplicarse una envoltura que se traslape unos 5 cm. A cada traslape se le aplica una rociadura de un disolvente especial para hacerlas pegajosas, de forma que al presionarlas conjuntamente se obtenga un sellado totalmente hermético al vapor.

Las hojas plásticas, aunque constituyen un sellador excelente contra el vapor, no resultan muy resistentes mecánicamente.

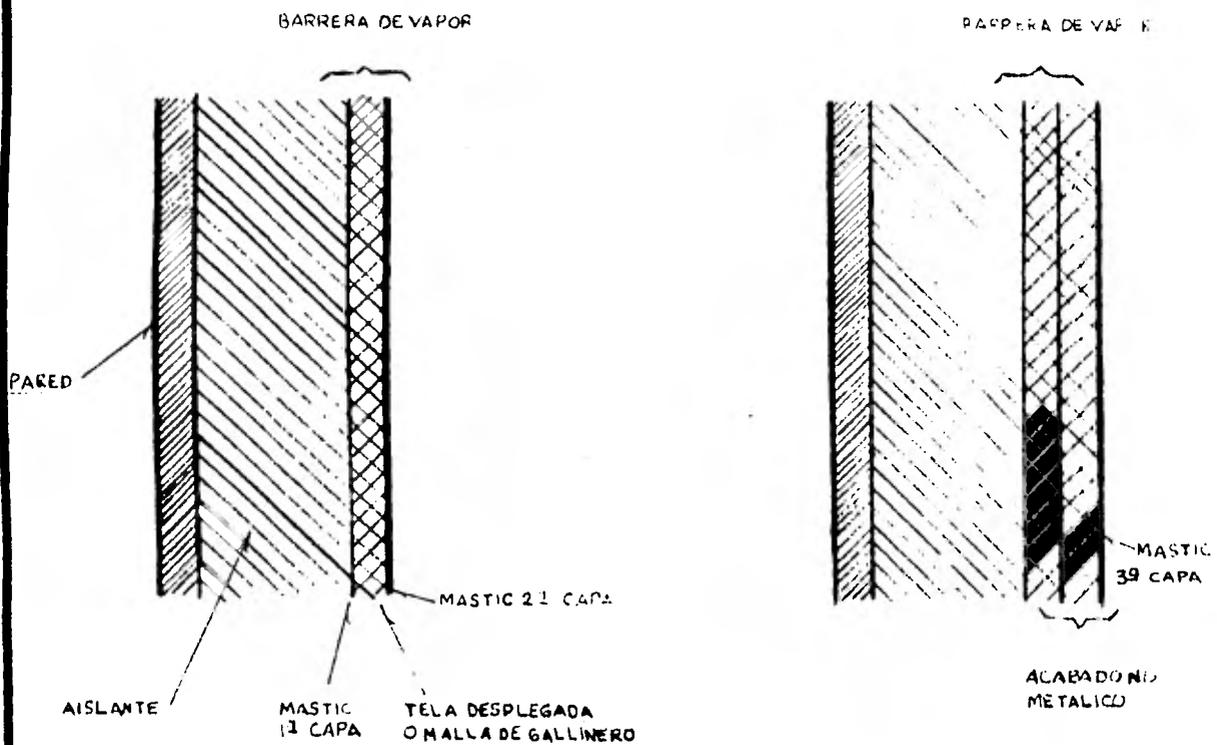


FIG. 2.5.- DETALLES DE INSTALACION DE BARRERA DE VAPOR

TESIS PROFESIONAL, U.N.A.M.

ESC.	JOSE RIVERA	ACOT.
NO	POSADAS	NI

nicamente y deben protegerse por asfalto o por un revestimiento bituminoso.

c) RECUBRIMIENTOS PLASTICOS: Pueden aplicarse con brocha o pistola, encima de lona o tela de fibra de vidrio que haya sido enrollada alrededor del aislamiento. Pueden ser productos a base de látex, de emulsiones de PVC/PVA; o de compuestos de vinilo/vinilideno.

d) TEJIDOS IMPREGNADOS: Los tejidos pueden impregnarse con hidrocarburos petrolíferos que contengan cargas silíceas, pasta de lanolina, pudiendo llevar también asfalto o algún otro compuesto sellador resistente a el ataque químico.

El material impregnado se suministra en diferentes anchuras que se enrollan alrededor del aislamiento con un traslape total de 5 cm., y se presiona todo el enrollamiento hasta formar un sellador hermético al agua. Algunas veces resulta necesario su protección mecánica.

e) HOJA DELGADA DE METAL: Constituye una forma de papel impregnado, puesto que consta de una fina lámina de aluminio sobre papel impregnado con asfalto. Se enrolla alrededor del aislamiento de forma que quede en la parte externa del recubrimiento la cara metálica, para obtener de esta forma algo de protección mecánica.

Las uniones pueden sellarse con asfalto o con una cinta adhesiva de aluminio.

f) CHAPA METALICA SELLADA EN UNIONES: Para los recipientes grandes, el sellador puede incorporarse en la chapa metálica protectora, mediante el empleo de unos remaches especiales y de un material sellador en las juntas.

2.4.1.- ADHESIVOS DEL AISLANTE:

Como se verá mas adelante, la mayoría de los materiales aislantes, excepto los espumados aplicados en campo, -precisan de un adhesivo para fijar o adherir las placas --moldeadas o preformados.

Se precisa un cuidado especial al seleccionar el adhesivo adecuado, también resulta importante comprobar que el adhesivo o disolvente que contiene, no reaccione con el material aislante y que resistirá el intervalo de temperatura para el cual se ha seleccionado el aislamiento.

2.5.- TABLA DE CLASIFICACION GENERAL DE AISLAMIENTOS.

2.6.- PERDIDAS ECONOMICAS REGISTRADAS EN TUBERIAS DESNUDAS.

La cantidad de calor que se gana por concepto de aislamiento deficiente, o por la carencia de este, es significativa cuando se expresa en pesos. La figura 2.6, muestra este tipo de pérdidas para diferentes temperaturas.

Esta pérdida puede incrementarse por el efecto de la circulación del aire sobre la superficie desnuda. Según lo muestra la misma figura.

Estando aislado el sistema la pérdida puede reducirse hasta un 90%.

TABLA III.- RECOMENDACIONES DE AISLAMIENTO.

TIPO DE AISLANTE	TUBERIAS	RECIPIENTES	ACCESOR.	PARTES.
RIGIDOS	SI	SI	(1)	---
FLEXIBLES	SI	SI	(2)	SI (3) SI (3)

TABLA III.- C O N T I N U A C I O N .

TIPO DE AISLANTE	TUBERIAS	RECIPIENTES	ACCESOR.	PARTES
CEMENTOS	-----	SI (4)	SI	SI

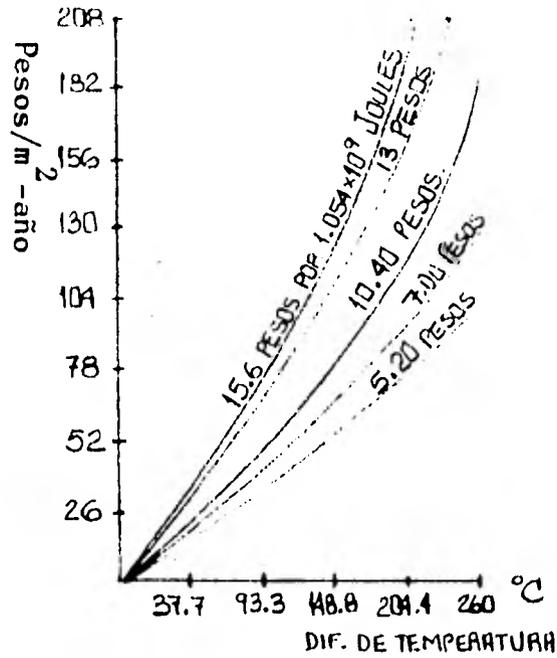
(1) Mandados a hacer sobre medida , ya no es muy usado.

(2) Cuando por relevado de esfuerzos no se pueden sueldar-
pernos, es el mejor tipo.

(3) En codos y valvulas requiere malla de refuerzo, flejes
y cemento monolítico.

(4) En tapas y accesorios.

Fig.- 2.6.a.- Costo de las Pérdidas de Calor por año para varios valores de energía.



Nota: 1 Btu = 1.054350 10³ Joules

Transmisión de Calor W/cm²

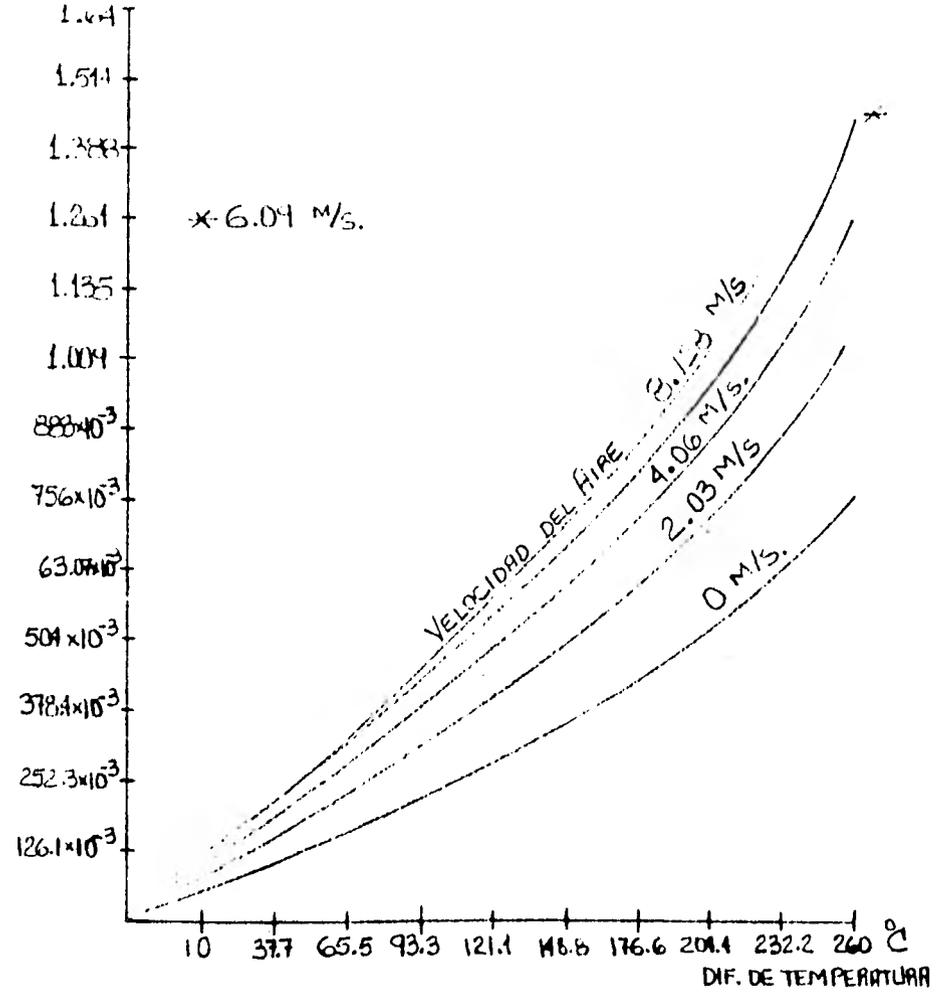


Fig.2.6.b.- Efecto de la circulación del aire sobre superficies desnudas, para diferentes valores de transmisión de calor

FORMA FÍSICA	MAXIMA TEMPERATURA ADMISIBLE °C	COMPOSICION O NOMBRE POPULAR	ESTRUCTURA.	DENSIDAD APROXIMADA EN LA FORMA APLICADA Kg/LM ³	CONDUCTIVIDAD TERMICA A LA TEMPERATURA QUE SE INDICA W/M°C	% DE ABSORCION DE AGUA EN VOLUMEN	PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	RESISTENCIA A:			CALOR ESPECIFICO	DESIGNACION ASTM	OBSERVACIONES.
								LA TRANSMISION AL VAPOR DE AGUA	LA INFLAMABILIDAD	EL DETERIORO MECANICO			
PLACA (COLCHO-NETA)	49	UREA FORMALDEHIDO	CELULAR	12.8	0.0256 A 24°C	ELEVADO	ELEVADA	MALA	INCOMBUSTIBLE	MALA	0.3		
PLACA PREFORMADA	50	EBONITA EXPANDIDA	CELULAR	64	0.0279 A 0°C 0.0151 A -129°C	1.5	0.12×10^{-5}	BUENA	INCOMBUSTIBLE	BUENA	0.3		SE ENCOGE CUANDO QUEDA EXPUESTO AL CALOR O A LA LUZ SOLAR.
PLACA Y PREFORMADA	76-79	POLIESTIRENO EXPANDIDO	CELULAR	16-32	0.0279-0.0325 A 0°C 0.0197 A -129°C	1.5 (MAX.)	$(1.16-2.32) \cdot 10^{-5}$	DE REGULAR A BUENA	MALA	REGULAR	0.2	C578-69	PUEDEN OBTENERSE CALIDADES INCOMBUSTIBLES. EL VALOR DE 1.16, NORMALMENTE PARA REVESTIMIENTOS DE TUBERIAS.
PLACA Y PREFORMADA	65	COACHO SECADO	CELULAR	112.1-192.2	0.0372-0.0395 A 0°C 0.0302 A -112.2°C	12	$(6.28-8.37) \cdot 10^{-5}$	REGULAR	REGULAR	BUENA	0.4		
PLACA	65	PVC EXPANDIDO	CELULAR	64-112	0.0337 A 10°C 0.0220 A -120.5°C	BAJO	$(0.04-0.07) \cdot 10^{-5}$	EXCELENTE	INCOMBUSTIBLE	BUENA	0.2		
PLACA Y PREFORMADA	149	POLIURETANO	CELULAR	32-40	0.0337 A 0°C 0.0220 A -120.5°C	DE BAJO A ELEVADO	$(2.09-11.16) \cdot 10^{-5}$	DE REGULAR A BUENA	DE MALA A BUENA	BUENA	0.3	C591-69	PUEDEN OBTENERSE CALIDADES INCOMBUSTIBLES.
PLACA Y PREFORMADA	427	VIDRIO CELULAR	CELULAR	128.1-160.2	0.05 A -18°C	0.2	BAJA	EXCELENTE	NO INFLAMABLE	DE REGULAR A BUENA	0.2	C552-66	BUENO PARA LA COMPRESION. RESULTA BASTANTE QUEBRADIZO Y EROSIONABLE
RELLENO SUELTO	482-537	LANA DE VIDRIO	FIBROSA	8-112	0.0337-0.0360 A 38°C	ELEVADO	ELEVADA	MALA	NO INFLAMABLE	MALA	0.2	C195	
RELLENO SUELTO	593	LANA DE ROCA	FIBROSA	16-160	0.0302 °C	ELEVADO	ELEVADA	MALA	NO INFLAMABLE	MALA	0.2	C378	
RELLENO SUELTO	649-815	LANA DE ESCORIAS	FIBROSA	48-112	0.0441 A -5.6°C 0.0255 A -81.6°C	ELEVADO	ELEVADA	MALA	NO INFLAMABLE	MALA	0.2	C300	
RELLENO SUELTO	704	SILICE AEROGEL	GRANULAR	80	0.0209 A 15.5°C 0.0151 A -101°C	ELEVADO	ELEVADA	MALA	NO INFLAMABLE	MALA	0.2		POSEE MUY BAJA CONDUCTIVIDAD SI SE UTILIZA EN ENVOLTURA Y VACIO.
RELLENO SUELTO	871	PERLITA EXPANDIDA	GRANULAR	48	0.0360 A 10°C 0.0220 A -81.6°C	ELEVADO	ELEVADA	MALA	NO INFLAMABLE	MALA	0.2	C549-67	TIENE MUY BAJA CONDUCTIVIDAD SI SE USA EN COMBINACION CON EL VACIO
RELLENO SUELTO	65	COACHO SECADO GRANULADO	GRANULAR	104	0.0372 A °C	✓	✓	✓	✓	✓	0.4		
PLACA	65	PVC	CELULAR	64-112	0.0337	-	-	-	NO INFLAMABLE	BUENA	0.2		
PLACA	46	CAUCHO CELULAR	CELULAR	160-224	0.0395-0.0569 A 10°C	5	BAJA	BUENA	MALA	BUENA	-		ADECUADO HASTA 65°C Y HASTA -58°C PARA USO INTERMITENTE.
PLACA Y PREFORMADA	140	POLIURETANO	CELULAR	32-48	0.0372 A 10°C	ELEVADO	ELEVADA	MALA	NO INFLAMABLE	BUENA	-	C591-69	SI ES NECESARIO SE FORRA CON DOS CAPAS DE PVC
PLASTICA	150	POLIURETANO APLICADO A PISTON	CELULAR	48-96.1	0.0337	BAJO	-	BUENA	DE MALA A BUENA	DE REGULAR A BUENA	-	C591	PUEDEN OBTENERSE CALIDADES INCOMBUSTIBLES.
PLASTICA	150	POLIURETANO ESPUMADO	CELULAR	32-40	- - - -	DE BAJO A ELEVADO	$(2.09-11.16) \cdot 10^{-5}$	DE BUENA A REGULAR	DE MALA A REGULAR	DE REGULAR A BUENA	-	C591	PUEDEN OBTENERSE CALIDADES INCOMBUSTIBLES
PLACA Y PREFORMADA	649	SILICATO DE CALCIO	GRANULAR	160-176	0.0399	ELEVADO	MODERADA	BUENA	NO INFLAMABLE	BUENA	-	C345	ES ALTAMENTE RESISTENTE AL ABUSO MECANICO, NO ES FLEXIBLE, ES QUEBRADIZO CON CARGAS
PLACA Y PREFORMADA	538	FIBRA DE VIDRIO	FIBROSA	40	0.0224	ELEVADO	MODERADA	BUENA	REGULAR	BUENA	-	-	FLEXIBLE E IRROMPIBLE

C A P I T U L O I I I .

"APLICACION DEL AISLAMIENTO TERMICO PARA SERVICIOS A-
BAJAS TEMPERATURAS".

3.1.- RECOMENDACIONES DE INSTALACION:

Previo a la instalación del aislamiento, deberán tomarse las siguientes precauciones y observaciones generales siguientes:

a) Proteger el aislamiento en el almacenaje contra la intemperie.

Esta precaución es la más importante para los materiales a utilizarse en superficies frías, pues aparte de que el material se puede estropear; el aislamiento mojado, una vez aplicado sobre la superficie fría, resulta bastante difícil que se seque.

b) Asegurarse de que las superficies que van a ser aisladas estén limpias y secas: Las superficies deben cepillarse con un cepillo de alambre para eliminar cualquier suciedad; la grasa debe limpiarse con disolventes. Cuando tiene que aislarse una instalación que ya está en funcionamiento antes de aplicar el aislamiento deben descongelarse las superficies mediante metanol o algún otro disolvente parecido de bajo punto de congelación; inmediatamente después debe aplicarse la barrera de vapor.

Antes de aislar todas las superficies que funcionarán por debajo del punto de rocío, debe aplicarseles primero -

a brocha una capa de "primer".

La pintura protege al metal contra la corrosión y -- también sirve como un anclaje o agarre para el adhesivo -- que se utilizará durante la aplicación del aislamiento.

c) Proteger a el aislamiento de los elementos atmosféricos durante su aplicación, especialmente de la lluvia o de la nieve.

d) Disponer de soportes para el aislamiento cuando ello resulte necesario: Generalmente el aislamiento para las superficies frías se sostiene en su sitio mediante adhesivos sin embargo es necesario el uso de soportes, por ejemplo -- donde el espesor de aislamiento varía sobre recipientes -- verticales. Los elementos en ángulo o en "T" constituyen -- los medios más adecuados de soportes; también puede utilizarse el engrapado y el atornillado.

Para instalar el aislamiento, se deben considerar las siguientes: Especificaciones de Instalación.

a) PREELIMINARES.

b) INSTALACION DEL AISLANTE

1.- Tubería

2.- Equipo

c) INSTALACION DE BARRERA DE VAPOR

d) INSTALACION DEL ACABADO

1.- Metálico

2.- No metálico

a) Preeliminaries:

1.- Verificar que las tuberías o equipos esten debidamente instalados y probados.

2.- Efectuar la limpieza de la superficie por aislar, ya sea mecánica (chorro de arena, cepillo) o químicamente.

3.- Aplicar pintura anticorrosiva.

b) Instalación del aislamiento: No dejar de un día para -- otro el 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. Los dibujos siguientes muestran esquemáticamente la forma de aplicar el aislamiento en diversas circunstancias

3.1.1.- PREVENCIÓN DE LA CONDENSACION Y LA CONGELACION:

Principalmente se precisa la protección del aislamiento, para las tuberías que contienen fluidos a temperaturas próximas a la del ambiente. Para conseguir tal protección deben tomarse las siguientes precauciones:

a) Unir los trozos de tubo aislante a la tubería: Colocar las secciones de tubo alrededor de la tubería y puesto que no se utilizará ningún adhesivo habrá que amarrarlos o fijarlos con alambres galvanizados espaciados a una distancia entre 23 y 25.5 cm. según el tamaño de la tubería y el aislamiento utilizado.

Los lados cortados de los materiales aislantes adecuados para el engrapado pueden unirse entre sí mediante grapas no corrosibles separadas cada 10 cm.

b) Evitar la separación entre los tramos: Ensamblar los tramos bien juntos para disminuir al máximo los espacios intermedios y llenar todos los huecos con aislamiento plástico o con pasta que contenga recortes del aislamiento.

c) Interrumpir el aislamiento cerca de las bridas: Cortarlo oblicuamente o achaflanarlo hacia atrás para permitir la extracción de los pasadores de las bridas.

Puede efectuarse el aislamiento de las juntas provis-

tas de bridas cuando ello es necesario, mediante el empleo de tramos de tubo de dimensiones no mayores de las acotadas o mediante aislamiento plástico.

d) Efectuar el montaje en seco: Las placas rígidas deben montarse en seco, especialmente en el caso de los materiales que normalmente se utilizan.

3.2.- ADHESIVOS:

La mayoría de los materiales aislantes, excepto aquellos espumados en campo, precisan un adhesivo para fijar o adherir las placas moldeadas.

Además algunas veces se utilizan brochas de madera para sujetar una placa con otra. También puede utilizarse cinta metálica o de alambre para sostener firmemente en su sitio al aislamiento terminado, antes de proceder a su acabado o cubrimiento.

Se precisa un cuidado especial al seleccionar el adhesivo adecuado, especialmente para algunos de los materiales aislantes más recientes.

Se ha utilizado mucho el BITUMEN CALIENTE con el aislamiento a base de corcho, pero actualmente se emplean bastante los adhesivos de fijación o endurecimiento en frío o con materiales como el Poliestireno Expandido.

Los materiales aislantes permeables permiten que escape el disolvente del adhesivo durante su secado y endurecimiento; tal secado no se verificaría con los materiales de baja permeabilidad, y de esta forma el adhesivo fallaría por falta de secado. Para adaptarse a tales casos, se han desarrollado adhesivos del tipo de contacto que no endure-

cen inmediatamente; esto permite una mayor libertad en el posicionado final del material aislante.

También resulta importante comprobar que el adhesivo o el disolvente que contiene no reaccionará con el material aislante y que resistirá el intervalo de temperatura para la cual se ha seleccionado el aislamiento.

3.2.1.- FACTORES QUE INFLUYEN EN SU ELECCION:

La selección de los adhesivos para los materiales que se utilizan en el aislamiento, constituye una faceta importante pero no resulta una tarea fácil. Al hacer la selección los dos factores más importantes que deben tenerse presente son los siguientes:

1.- Encolado a Baja Temperatura: El adhesivo debe de ser de tal tipo que se adhiera bien el aislamiento con la tubería o recipiente; se necesita tener en cuenta la dilatación térmica entre los dos materiales. Si los coeficientes difieren mucho o si el encolado debe quedar expuesto a variaciones de temperatura durante el servicio, entonces el adhesivo debe ser suficientemente flexible como para impedir una acumulación de tensiones que produzca fallo de la unión.

Todos los adhesivos, incluso si son flexibles a la temperatura ambiente, se vuelven quebradizos por debajo de determinadas temperaturas aunque esto por sí mismo, no sea la causa del fallo del encolado, puede suceder esto a consecuencia de las tensiones acumuladas por tracción o vibración.

2.- Los Disolventes: La mayor parte de los adhesivos forman un encolado por la evaporación del disolvente alguno -

de los cuales puede ser muy inflamable y quizá tóxico.

Los adhesivos basados en sistema acuoso secan, comparativamente despacio y a menudo el encolado resultante de su aplicación es sensible a la humedad. El disolvente también puede atacar los materiales que se encolan, y ya que estos a menudo son utilizados en forma de espuma, es por lo que son especialmente sensibles a su ataque. Por ejemplo la espuma de poliestireno resulta rápidamente atacada por los disolventes aromáticos, los ésteres y las cetonas; y en una intensidad inferior por los disolventes petrolíferos. Probablemente los disolventes más útiles para el pegado del poliestireno consigo mismo sean los tipos basados en agua. Sin embargo en los casos en que se precisa unir el poliestireno con otro material (por ejemplo con un metal) entonces este último puede impregnarse o cubrirse con un adhesivo basado en disolvente, y dejar que quede casi seco antes de aplicarle encima el poliestireno. Se precisan unos conocimientos especializados y deben tenerse presentes muchos factores cuando se manipulan adhesivos y disolventes. En la siguiente tabla se indica una lista de los adhesivos recomendables para los diferentes materiales aislantes.

3.2.2.- TIPOS DE ADHESIVOS:

Para encolar los materiales aislantes pueden utilizarse como adhesivos varios materiales, incluidos determinados tipos de asfaltos. Bajo los siguientes subapartados se agrupan y describen estos materiales junto con algunos detalles referentes a sus propiedades y forma de aplicación.

AISLAMIENTO

GRUPO ADHESIVO.

MREA
FORMALDEHIDO

ASFALTICO, basado en CAUCHO SINTETICO (NEOPRENO O NITRILO).

EBONITA
EXPANDIDA

ASFALTICO, basado en CAUCHO RECUPERADO. BASADO EN CAUCHO SINTETICO.

POLIESTIRENO
EXPANDIDO

ASFALTICO. CAUCHO NATURAL (BASADO EN AGUA)

CORCHO
SECADO

ASFALTICO, CAUCHO NATURAL (BASADO EN AGUA O DISOLVENTE).

PVC
EXPANDIDO

ASFALTICO, basado en CAUCHO SINTETICO (NEOPRENO O NITRILO).

POLIURETANO

ASFALTICO, BASADO EN CAUCHO SINTETICO (NEOPRENO O NITRILO).

VIDRIO
CELULAR

ASFALTICO, NEOPRENO/FENOLICO, NITRILO/FENOLICO.

TABLA 1.- Adhesivos Recomendables para los diferentes Materiales Aislantes.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas
MAY 20 1962

J.N.A.M.

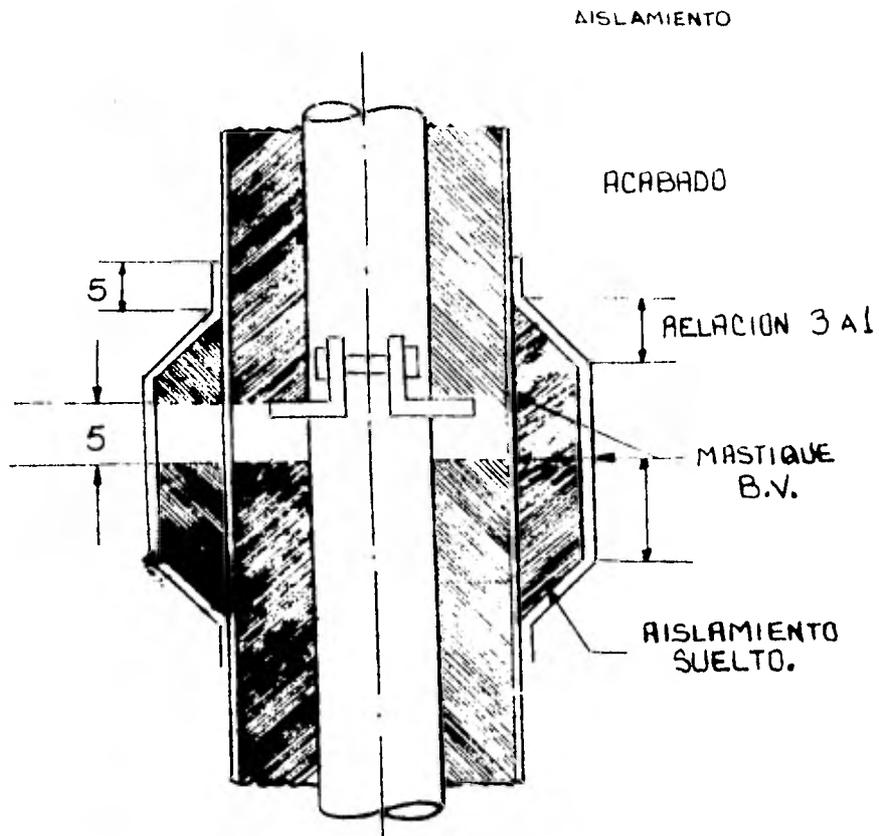


Figura 3.1.- Soportes de Aislamiento en Tubería Vertical.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas

U.N.A.M.

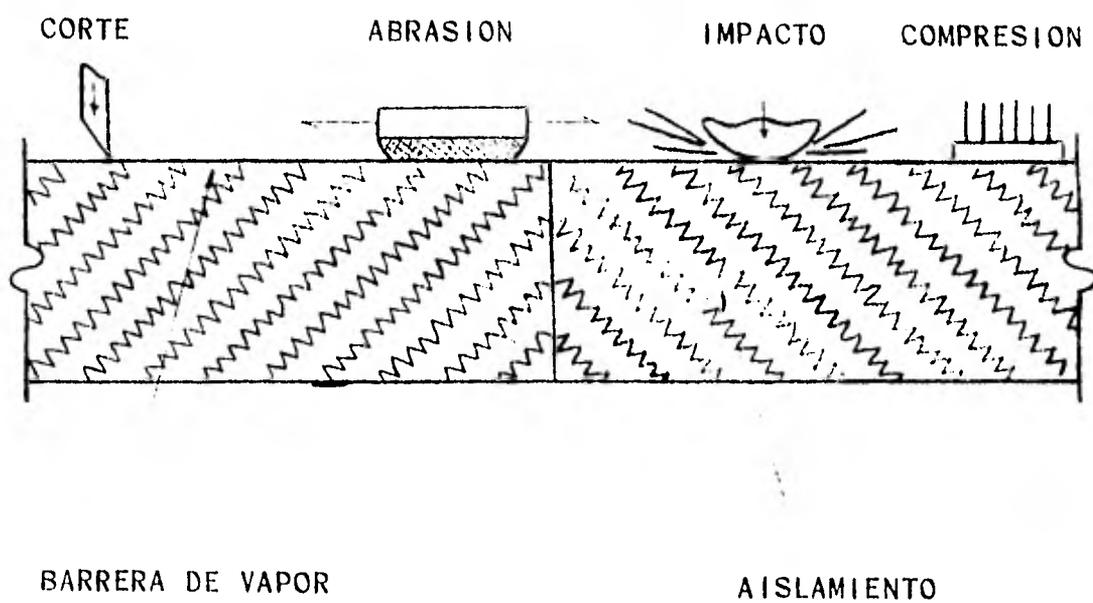


Figura 3.2.- Esfuerzos Mecánicos en la Barrera provenientes del exterior.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas

U.N.R.M.

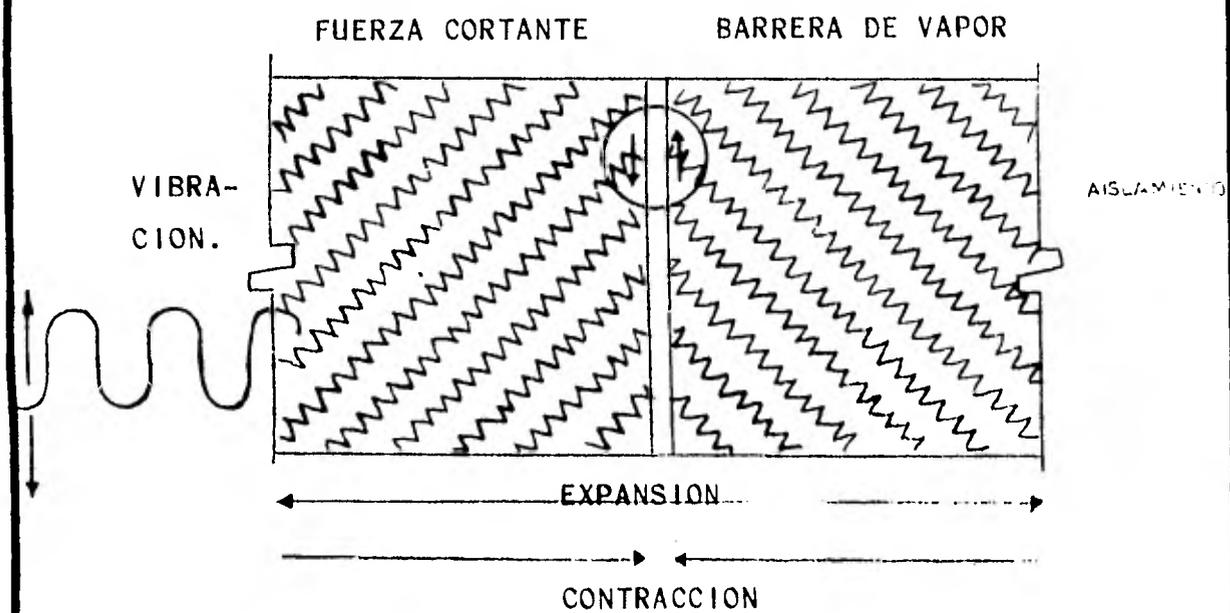


Figura 3.3.- Esfuerzos Mecánicos en la Barrera provenientes del interior.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas

U.N.A.M.

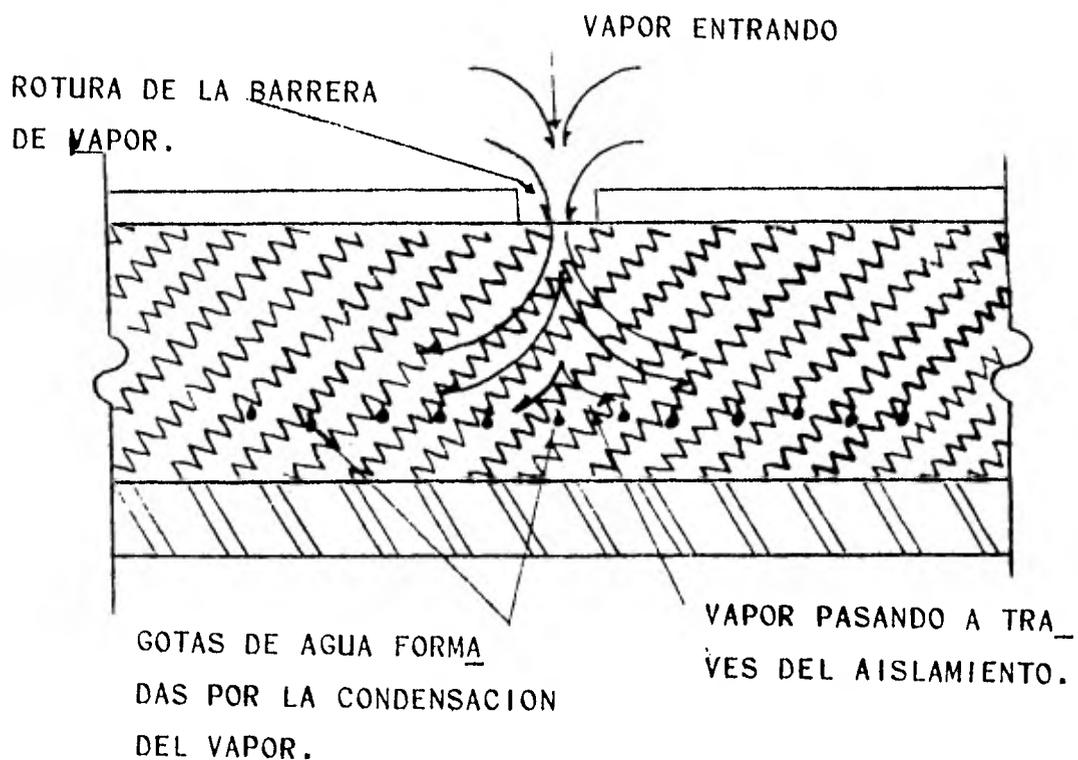
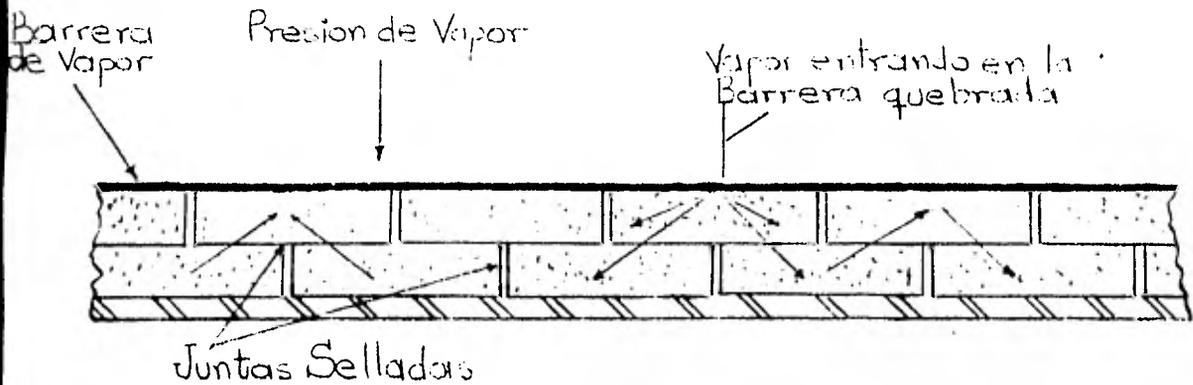
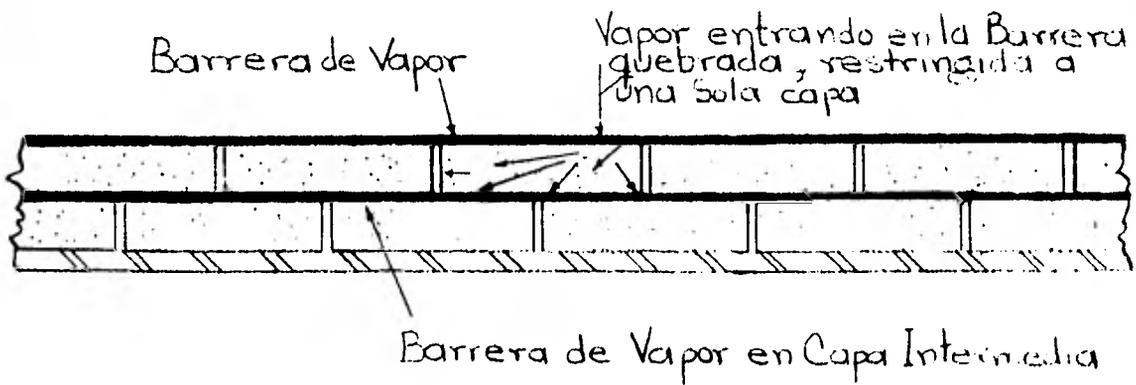


Figura 3.4.- Paso de la Humedad en forma de Vapor a través del Aislamiento por rotura o falla de la Barrera de Vapor.

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.
José Rivera Posadas
U.N.R.M.



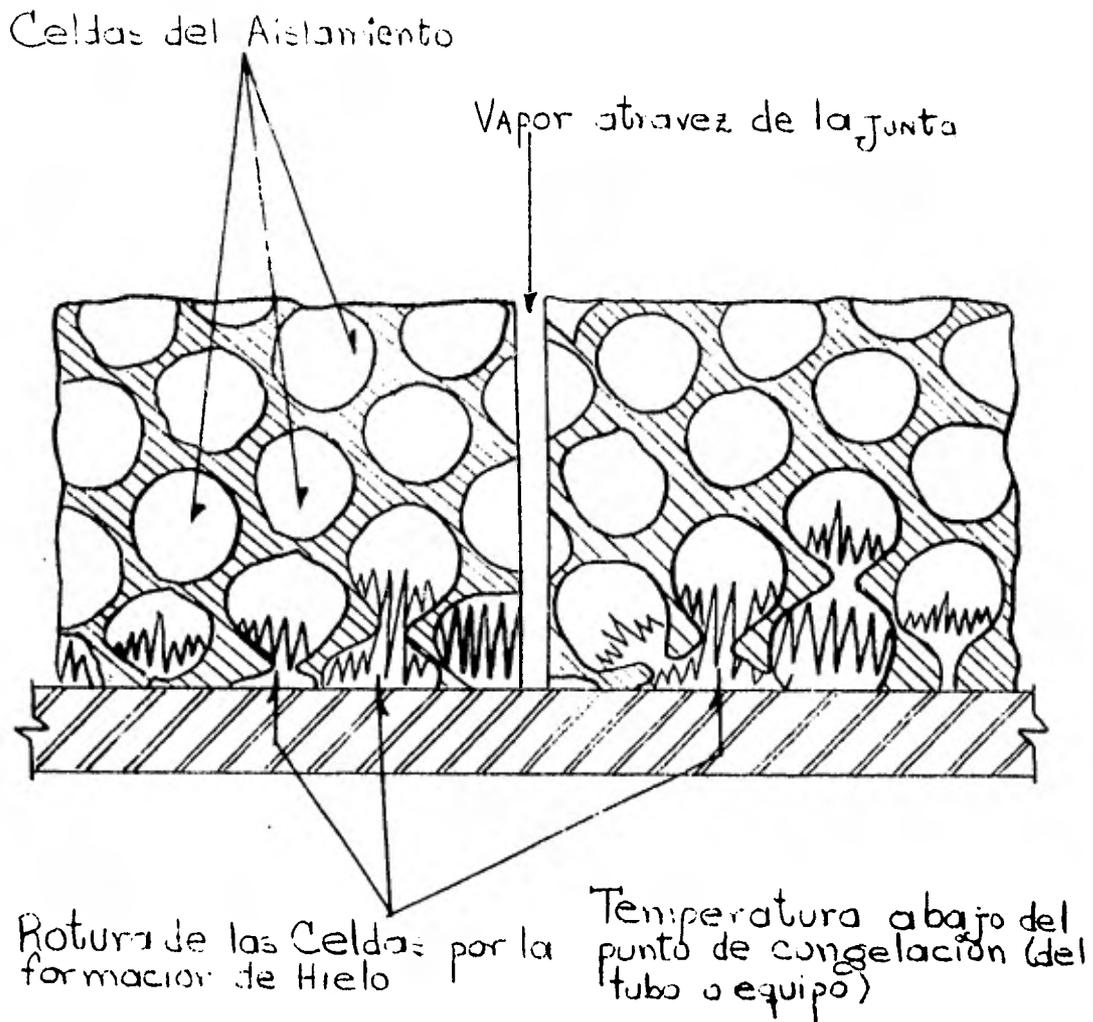
METODO IMPROPIO



METODO PROPIO

Figura 3.5.- Método de Sellamiento de Barrera de Vapor en Juntas.

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.
José Rivera Posadas
U.N.H.M.



ROTURA DE LAS CELDAS
POR LA FORMACION DEL HIELO

TEMPERATURA ABAJO DEL -
PUNTO DE CONGELACION --
DEL TUBO.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas

U.N.R.M.

Figura 3.6.- Sección microscópica de un Aislamiento Rígido-instalado en un tubo o en un - equipo.

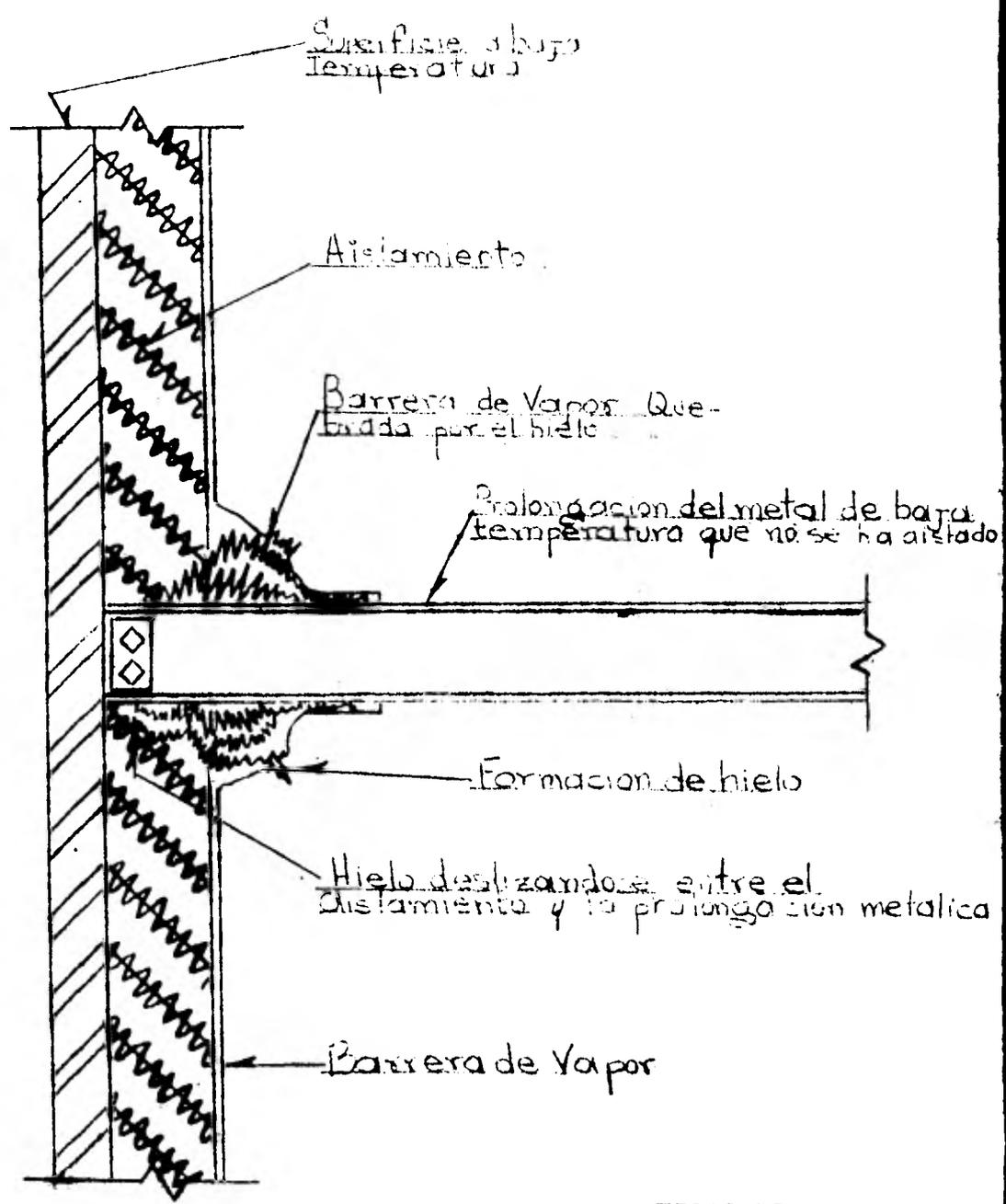


Figura 3.7.- Formación de Hielo en prolongación metálica no aislada.

TESIS PROFESIONAL
F.F.S.C.
José Rivero Posadas
U.N.R.M.

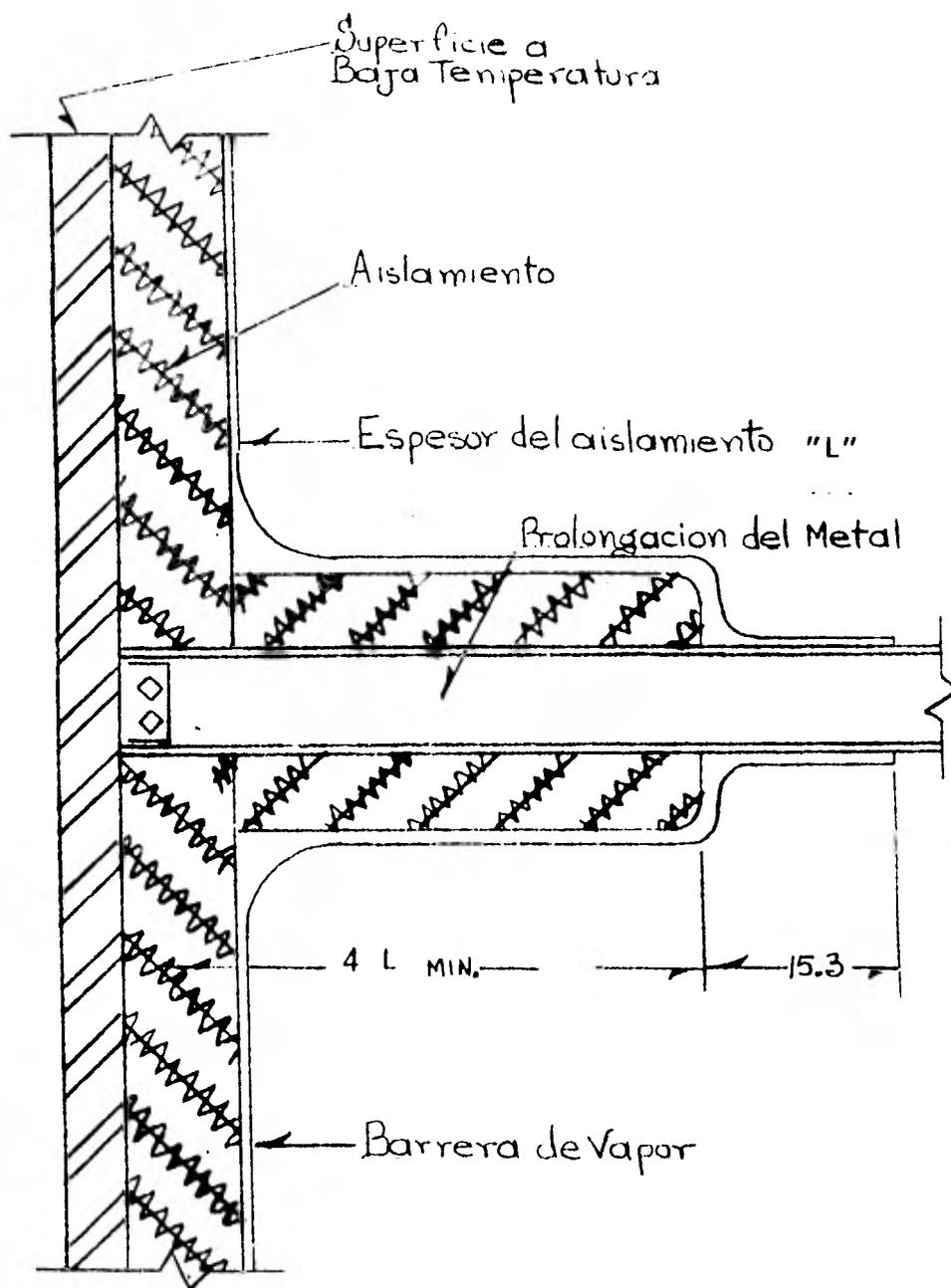
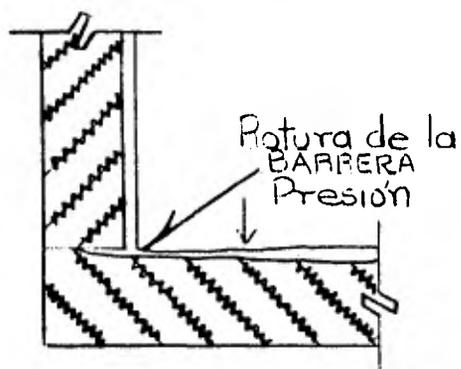
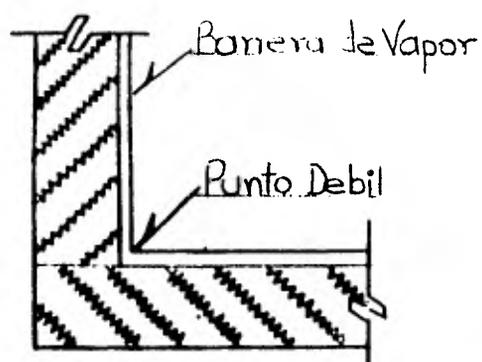


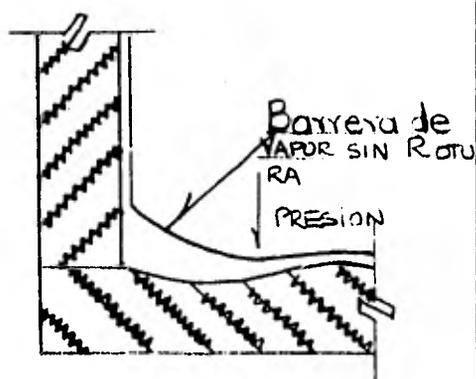
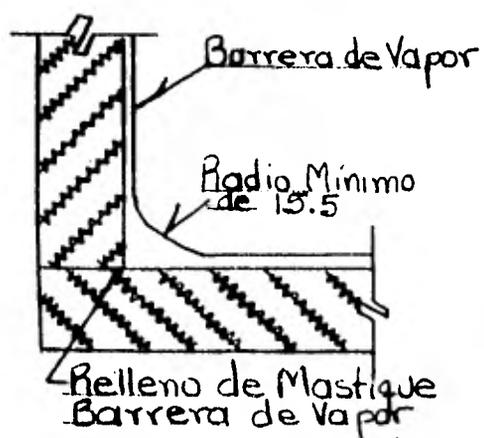
Figura 3.8.- Metodo Correcto de aislar las prolongaciones metálicas de superficies a bajas - temperaturas.

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.

José Rivera Posadas
Marzo U.N.A.M. 1982



METODO IMPROPIO



METODO PROPIO

Figura 3.9.- Método Correcto de aislar esquinas internas, y aplicación de Barreras de Vapor en esquinas internas.

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.

José Rivera Posadas
Marzo U.N.A.M. 1982

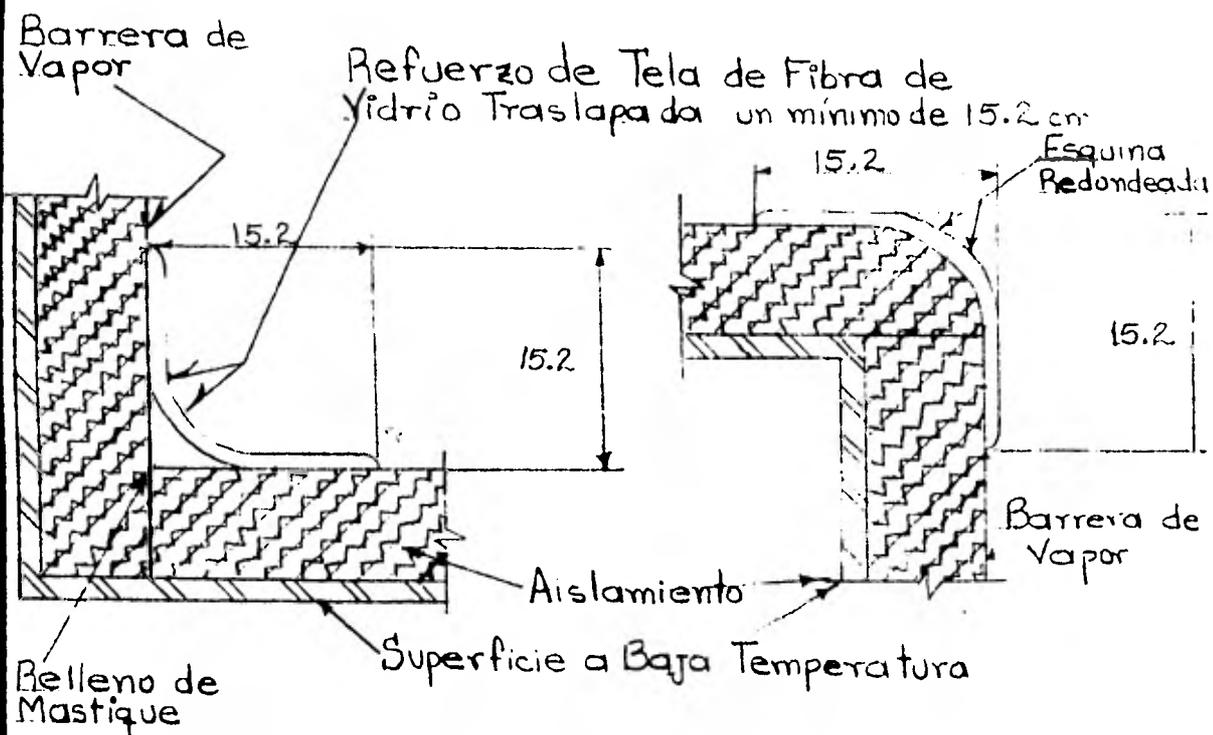


Figura 3.10.- Aislamiento de Esquinas con Barrera de Vapor Reforzada.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas

Marzo U.N.A.M. 1982

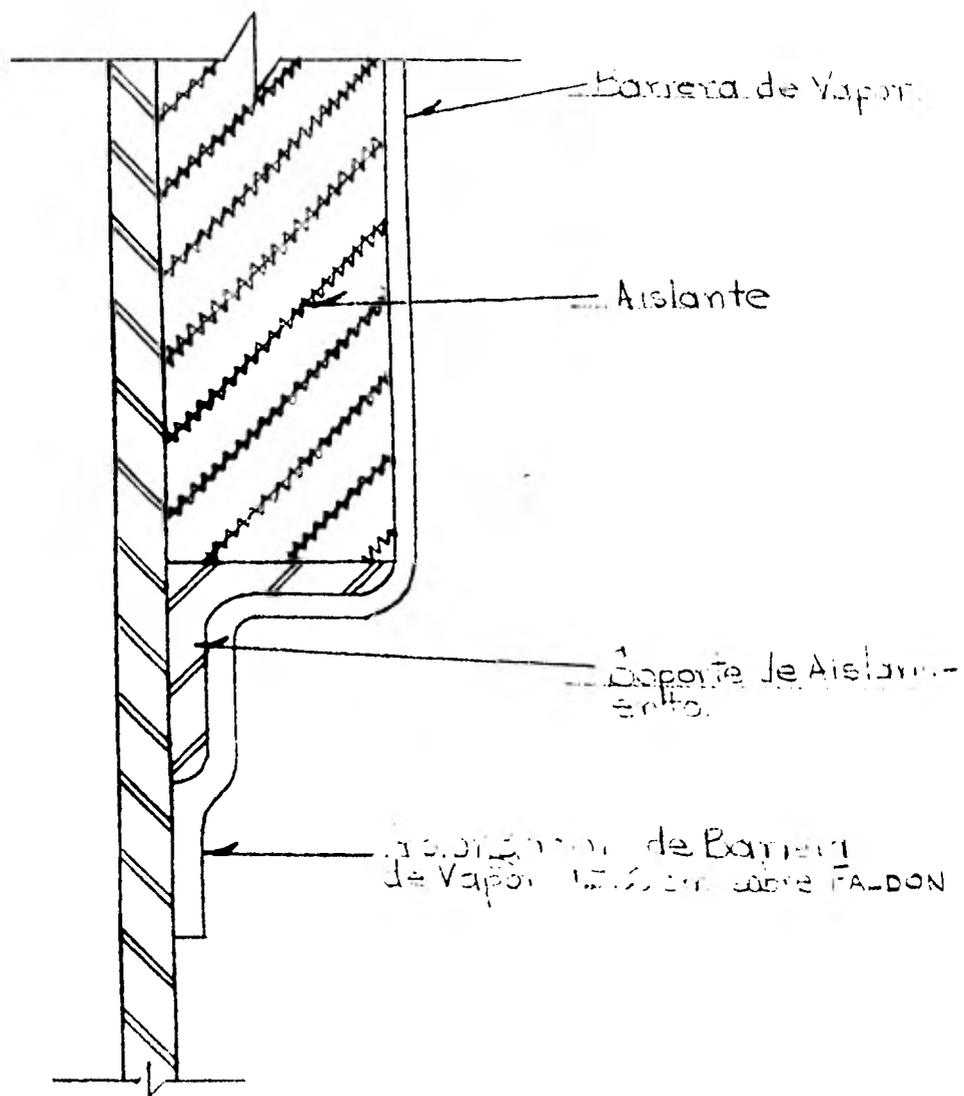


Figura 3.11.- Aislamiento en Faldones.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas

Marzo U.N.R.M.1982

1.- ASFALTOS O BITUMENES (generalidades): Son materiales termoplásticos de origen mineral, generalmente de color obscuro que poseen buenas propiedades adhesivas y que no les afecta la humedad; y normalmente para la instalación y montaje de placas preformadas y el aislamiento seccional de las superficies frías.

Los adhesivos de aplicación en frío resultan especialmente adecuados cuando no puede aplicarse el calor para fundirlos y aplicarlos en el mismo lugar. Existen dos tipos de adhesivos asfálticos, para aplicarse en frío y en caliente.

Las emulsiones asfálticas constituyen otra variante de adhesivos, (con o sin contenido en caucho); que se aplican a brocha o manualmente sobre la superficie del material y se utilizan donde el aislante o superficie de contacto es permeable al agua. Una vez secos, estos adhesivos no son inflamables y resultan inodoros y no tóxicos.

Una segunda variación comprende las emulsiones asfálticas que contienen caucho. Se aplican normalmente con brocha cuando el material aislante y la superficie de contacto son impermeables.

Son adhesivos del tipo de contacto a los que debe dejarse un período de presecado antes de proceder a la unión de las superficies.

Una tercera variación corresponde a un asfalto que contiene disolvente no tóxico (asfalto del tipo diluido con hidrocarburos petrolíferos). Se prepara hasta darle consistencia, para conseguir una buena adhesión; y se aplica en la superficie debiendo estar totalmente seca. Este adhesivo puede emplearse para trabajos de reparación, in-

cluso cuando la instalación está en funcionamiento, pues este tipo no contiene agua. Esta clase de adhesivo no debe utilizarse con el Poliestireno Expandido u otros materiales aislantes que resulten atacados por los disolventes. Una vez seco, la capa resultante es inflamable, inodora y no tóxica.

2.- ADHESIVOS DE RESINA EPOXI: Son adhesivos de dos componentes que pueden formularse para que curen a temperatura ambiente. Las resinas epoxi, ofrecen una excelente resistencia a los aceites y mohos, y también resisten a la acción del agua y de muchos disolventes.

Sus grandes ventajas residen en la escasa contracción del volumen y la nula formación de materias volátiles durante el curado, si bien se precisa efectuar una ligera presión entre las superficies a unir para asegurar la buena adhesión. No son inflamables ni tóxicos pero pueden provocar Dermatitis.

3.- ADHESIVOS DE CAUCHO NATURAL: Sirven normalmente como una solución muy viscosa en disolvente (inflamable) de color marrón claro, o bien como un látex blanco lechoso de baja viscosidad no inflamable. Endurece por la evaporación del disolvente o del agua, y/o por vulcanización.

El caucho natural resiste a el agua y a el moho, pero resulta atacado por los aceites y disolventes. Es inflamable pero no tóxico.

4.- ADHESIVOS DE FENOLFORMALDEHIDO: Esta clase de adhesivo puede endurecer mediante calor y presión o bien mediante sistemas de dos componentes. Resultan útiles para asegurar la adhesión sobre la madera, los plásticos y los metales.

Los adhesivos de fenolformaldehido resisten eficazmente los ataques por agua, así como los de los disolventes, y el desarrollo del moho. No son inflamables a menos que se mantenga la flama, no son tóxicos pero pueden provocar dermatitis.

5.- ADHESIVOS DE CAUCHO DE NEOPRENO-RESINA FENOLICA: Estos pueden utilizarse en la forma de una solución sin vulcanizar proporcionando buenos resultados hasta temperaturas de 60 °C. Esta clase de adhesivos resisten el ataque del agua no son tóxicos, pero sí odorosos; y sus vapores no son inflamables.

6.- ADHESIVOS DE CAUCHO-NITRILÓ-RESINA FENOLICA: Son parecidos a los de Neopreno-Fenólicos, pero el adhesivo curado posee una mayor resistencia térmica. Resiste la acción del agua, los aceites y el moho; es ligeramente inflamable.

7.- ADHESIVOS DE POLIISOBUTILENO: Son transparentes e incoloros, permanentemente pegajosos que se utilizan generalmente para las cintas adhesivas, son totalmente flexibles a -80 °C, pero se reblandecen considerablemente a temperaturas por encima de 30 °C. Resistencia el agua y el desarrollo del moho, no son tóxicos, pero sí inflamables.

8.- ADHESIVOS DE ACETATO DE POLIVINILO: Normalmente son quebradizos a temperaturas ambientales, pero se reblandecen a aproximadamente 50 °C, y pueden plastificarse para mejorar la flexibilidad.

Presentan una buena resistencia a los aceites y al desarrollo del moho. En solución son inflamables, son inodoros pero no tóxicos.

9.- ADHESIVOS A BASE DE CAUCHOS RECUPERADOS: Son de bajo -

costo y pueden adquirirse en forma de disolventes o mezclados con agua a temperaturas de -35°C , se vuelven quebradizos. La resistencia contra los aceites es mala; pero sí es buena contra la acción del agua y el desarrollo del moho, - son inflamables pero no tóxicos.

10.- ADHESIVOS A BASE DE CAUCHOS SINTETICOS: Se emplean generalmente mezclados. No son inflamables a menos que se mantenga la flama. En algunos casos, los adhesivos deben aplicarse a ambas partes, es decir sobre el aislamiento, y sobre la superficie fría, que se desee aislar.

3.3.- PRUEBAS DE MATERIALES AISLANTES.

a) DENSIDAD: Se recomienda en general que sea de: 272.313 Kg/m^3 , en promedio; pues mientras más ligero sea el aislamiento, menor conductividad térmica tendrá, por lo que la línea a recubrir es elevada y no será sujeta a abuso mecánico, entonces el aislamiento podrá ser ligero; sin embargo esto implica fragilidad y un manejo cuidadoso, lo cual, es difícil.

b) MODULO DE RUPTURA PARA PLACAS: Esta prueba se realiza para una muestra patrón, de determinadas medidas.

Se somete a presión una placa de 30.5 por 5.5 cm. con soportes a 2.54 cm. de altura, y con un espesor de placa de 2.54 cm., como se muestra en la figura 3.12.

c) MODULO DE COMPRESION PARA PLACAS: Es la presión uniformemente distribuida aplicada sobre una placa de superficie 5.5 por 5.5 cm., para comprimir el 5% de espesor de la placa. Esta prueba es importante cuando el material se propone como respaldo interno en hornos, tales como los de hogar abierto.

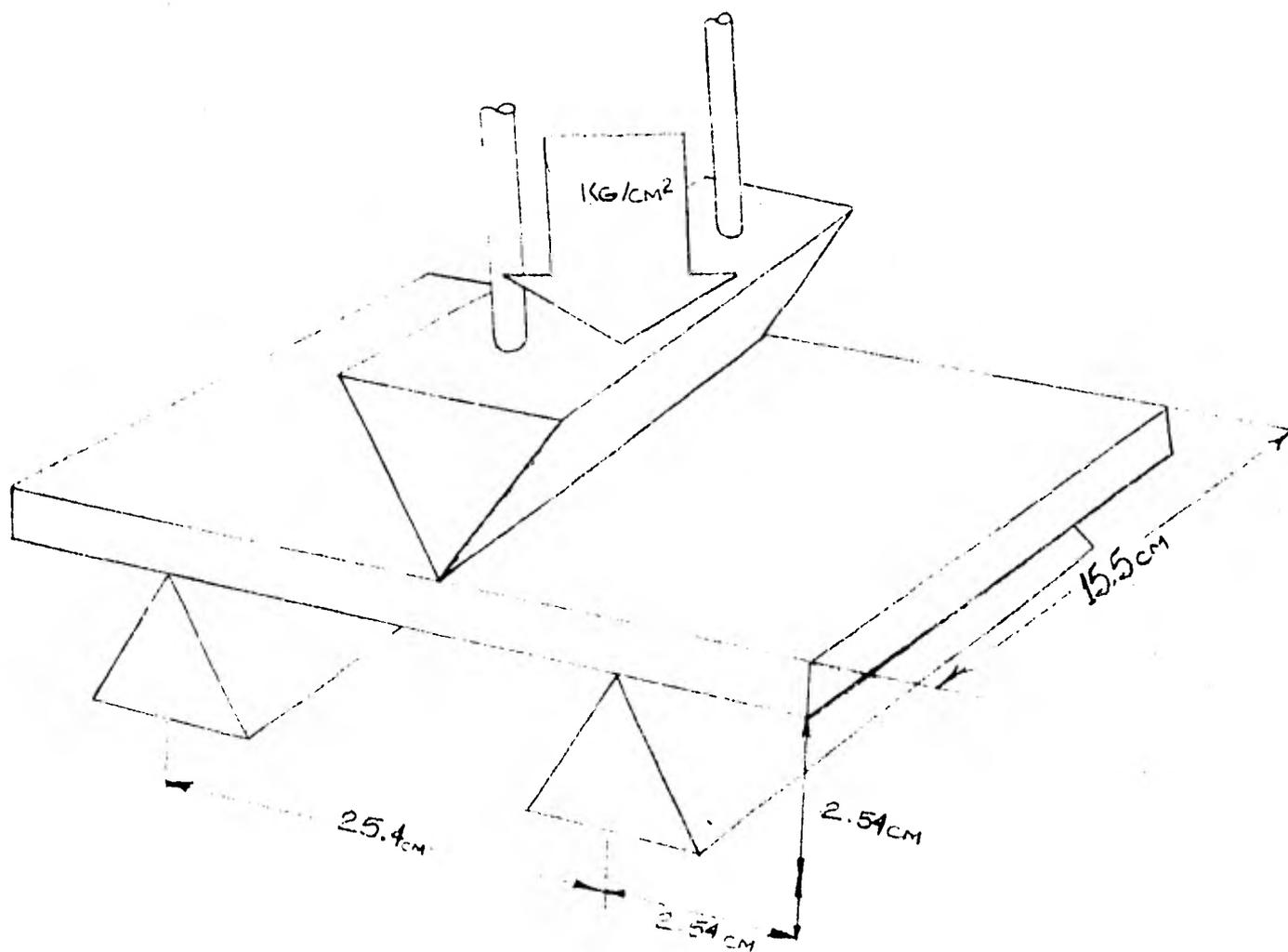


Figura 3.12 - PRUEBA DE MODULO DE RUPTURA PARA PLACAS.

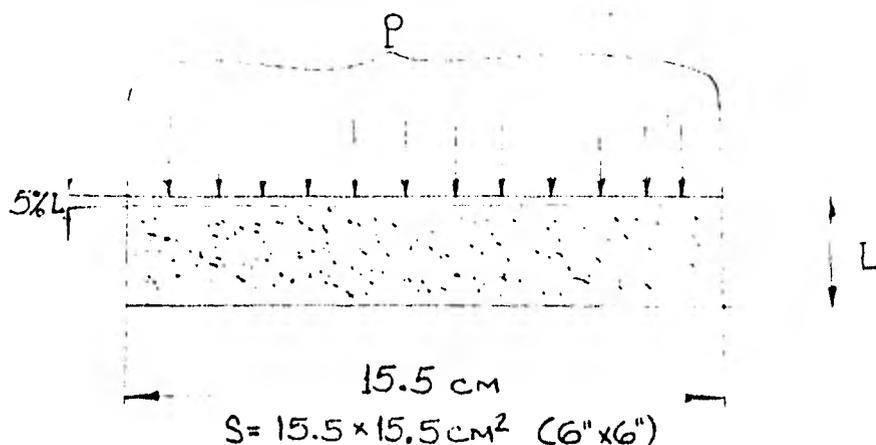


Figura 3.13 MODULO DE COMPRESION.

3.4.- ACABADOS.

La función básica de estos es, dar protección a el aislamiento, contra una o varias del total de las siguientes razones:

- a) Intemperie (lluvia, nieve, humedad, viento)
- b) Abuso Mecánico y Abrasión
- c) Paso de Vapor
- d) Radiación Solar, Ultravioleta, e infrarroja
- e) Gases, Humos y substancias Químicas
- f) Fuego

Es importante considerar el tipo de protección que requiere el aislamiento, y el tipo de ataque que puede recibir, para poder seleccionar el acabado adecuado. Los acabados se pueden seleccionar de dos grandes grupos:

- a) ACABADOS METALICOS
- b) ACABADOS NO METALICOS

Presentando en cada uno las opciones de protección - enlistadas y requiriendo en algunos casos la combinación- de acabados de ambos grupos. La tabla I, muestra los tipos de acabado que se pueden utilizar.

TABLA I.- TIPOS DE ACABADO.

I.- METALICOS	a) Lámina Negra pintada
	b) Lámina Galvanizada
	c) Lámina de Aluminio, lisa o corrug- -ada.
	d) Lámina de Acero Inoxidable.
II.- NO METALICOS (Plásticos).	a) Emulsión Asfáltica (elastomérico), "Climastic-Mastic"
	b) Lactone (queda como Monolítico).
	c) Monolar.
III - OTROS	a) Manta pintada de Aluminio. (En lugares no expuestos a Abuso - Mecánico).

Los Acabados Metálicos, cubren básicamente los aspectos de protección de la intemperie, el abuso mecánico y -- contra fuego; además de darle una apariencia agradable a -- el área de trabajo, no conseguida sin el empleo de estos.

En los acabados metálicos existe la posibilidad de -- formación de una celda electrolítica, ya sea porque el aig- lamiento tenga algún aglutinante que se disuelva con la -

humedad, (silicato de sodio) por ejemplo; y que 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 que el metal de refuerzo - de un aislamiento flexible, esté en contacto con la lámina de acabado.

Cuando se presente el primer caso, es necesario dar una protección adicional aplicando una película de polietileno en la lámina o bien, aplicando sobre el aislante un mastique de 3 mm. de película seca que impida el paso de la humedad y el flujo de corriente, a ésta película se le suele llamar Barrera de Humedad.

Es también posible resolver el problema aplicando mastique en el traslape de la lámina de acabado y dándole 6.3 cm. ($2\frac{1}{2}$ "), de traslape; o bien efectuando un machimbrado de la lámina y sellando con el mastique barrera de humedad. Una precaución adicional sería 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 dieléctrico entre metales disímiles, el cual puede ser papel asfaltado o "permafelt".

Es importante que tanto las pijas como los flejes, -- sean del mismo material que la lámina para no tener corrosión galvánica, sin embargo es recomendable en todos los casos utilizar todos los elementos de sujeción de acero -- inoxidable para descartar la posibilidad de corrosión y ganar en resistencia mecánica.

En las bajas temperaturas, debido a la necesidad de -

aplicar barrera de vapor ya que no es posible usar anclas de soporte para aislamiento, nunca se deben usar pijas o remaches de sujeción; esta deberá ser con flejas, de preferencia de inoxidable y estar a la mínima separación, - aproximadamente 15.24 cm. (6").

Cuando se ha seleccionado el tipo de acabado como no metálico, este puede ser o no barrera de vapor, ya que su aplicación será directamente sobre ésta y no requerirá una razón extremadamente baja de transmisión del vapor. En la siguiente figura se ilustra la instalación del acabado sobre la barrera de vapor con tela de refuerzo adicional.

Cuando sobre barrera de vapor se aplica como acabado el mismo tipo de mastique, es de considerar su punto de flameo y su toxicidad ya que generalmente su base es solvente y en algunos casos puede ser peligroso. Los mastiques barrera de intemperie son más recomendables en estos casos.

3.5.- RECOMENDACIONES DE MANEJO: En este punto se pretende resaltar la importancia de manejo y almacenamiento de los materiales aislantes ya que por sus características pueden dañarse o echarse a perder en el período comprendido entre la compra y la instalación. Los materiales aislantes más delicados son los granulares, los fibrosos y los monolíticos, por lo que para cada uno de ellos se tienen recomendaciones particulares.

a) GRANULARES: Estos materiales porosos y rígidos son muy frágiles debido a la baja densidad requerida por códigos para cumplir con la baja conductividad térmica, por lo tanto, deben empacarse debidamente protegidos en cajas de cartón de doble enflautado y con letreros alusivos; nunca deben transportarse con más de dos cajas por estiba en posición vertical,

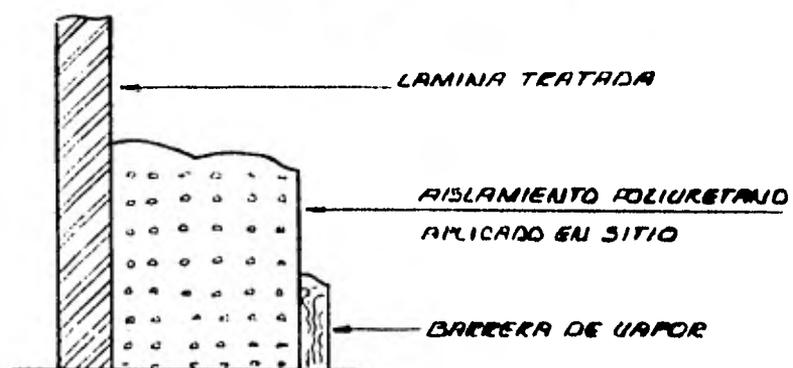
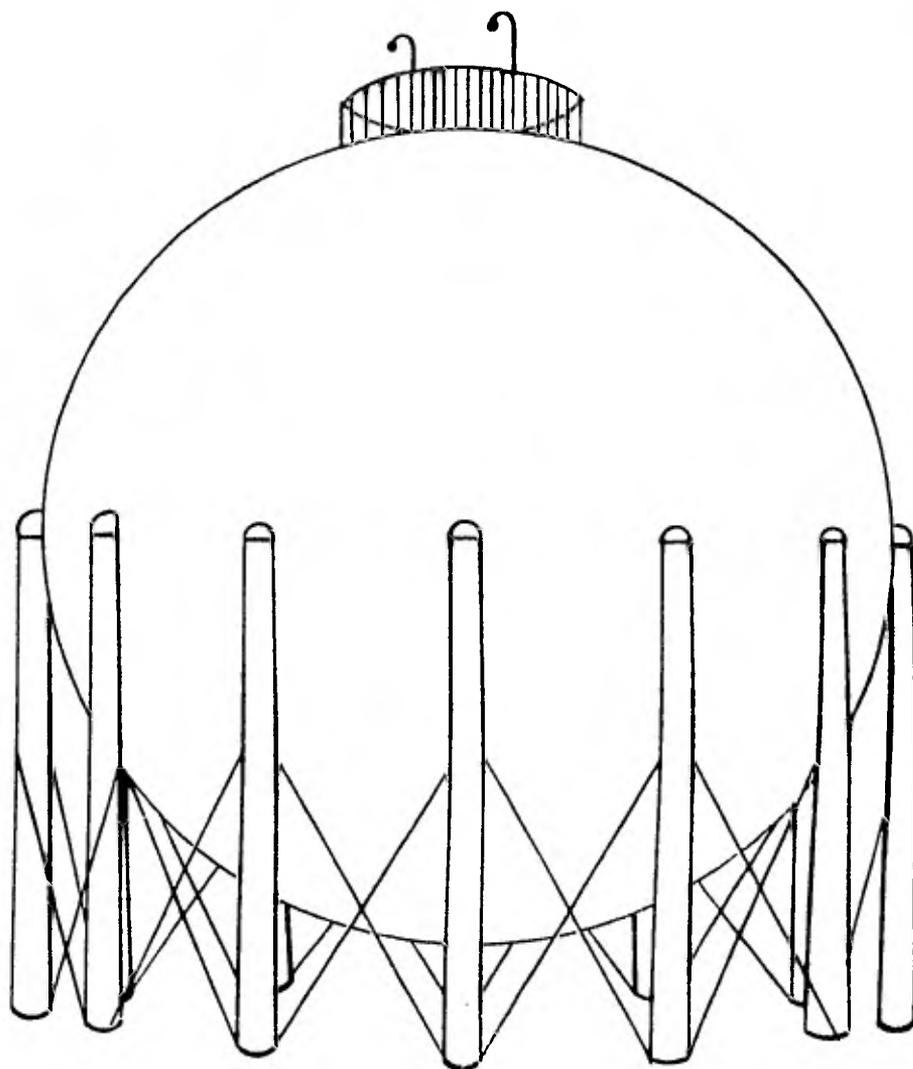


Figura 3.14.- Servicio a la
intemperie en baja temperatura.

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.
José Rivera Posadas
Marzo 1982

ni llevar encima objetos pesados, deben sujetarse y protegerse contra posibles golpes, contra lluvia y humedad, tanto en el manejo como en el almacenaje en recintos cerrados. Las piezas astilladas deben remendarse con cementos de unión, sin embargo, esto no es siempre posible.

b) FIBROSOS: Debido a las características de estos materiales de ser soportes mecánicos de celdas de aire, empleando aglutinantes para su conformado, estos materiales no tendrán muchos problemas de manejo en cuanto a posibles fracturas, aún en la presentación de preformado o placas rígidas, sin embargo, se deberá tener mucho esmero en la protección contra la intemperie, ya que la humedad modifica el factor "K", perdiendo sus cualidades aislantes, apelmaza el material y lo destruye si llega a mojarlo.

Esta protección debe efectuarse cubriendo el material con polietileno, almacenándolo en áreas cubiertas y sobre bases de madera que mantengan el material sin contacto con el piso, nunca se debe dejar instalación sin terminar, y en caso de hacerlo, debe cubrirse el aislamiento garantizando su protección a la intemperie.

c) MONOLITICOS: Por su presentación generalmente en sacos o bolsas de polietileno de diferentes pesos, el cuidado debe ser tal, que no debe perforar dichos empaques ya que pueden humedecerse y echarse a perder; también deben seguirse las recomendaciones del fabricante, en cuanto al tiempo de aplicación y preparación de la mezcla.

3.6.- METODO PARA LA APLICACION Y PROTECCION DE AISLAMIENTO EN INSTALACIONES QUE FUNCIONAN POR DEBAJO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE, UTILIZANDO AISLAMIENTO RIGIDO.

Para ésta finalidad existen trozos de tubo semicircula-

res en longitudes de 90 cm. para las tuberías de tamaño estándar y diámetro moderado. Para los grandes diámetros pueden utilizarse placas ranuradas, revestimientos achaflanados, redondeados y placas planas; por ejemplo, para el aislamiento en corcho se sugiere la forma de aislamiento que se indica en la siguiente tabla:

FORMAS QUE SE SUGIEREN PARA EL AISLAMIENTO EN CORCHO
PARA GRANDES DIAMETROS.-

a) Tuberías de hasta 76 cm.	Trozos de tubo semicirculares.
b) Tuberías y recipientes desde 76 hasta 2.4 m.	Revestimientos radiales
c) Recipientes desde 2.5 m. hasta 6 m.	Placas planas de una anchura superior a 15 cm.
d) Recipientes superiores a 6 m.	Placas planas de una anchura no superior a 30 cm.

3.6.1.- Aislamiento de Tuberías y Recipientes: Los procedimientos para la aplicación del aislamiento a las tuberías y recipientes pueden agruparse en tres métodos principales:

a) Montaje del aislamiento utilizando asfalto fundido como adhesivo: Para el aislamiento con corcho o vidrio celular, se aconseja emplear como adhesivo un asfalto fundido. Existen fórmulas especiales para utilizarlas con el aislamiento de poliestireno, pero no se recomiendan para trabajos a gran escala. Las mezclas de bajo punto de fusión para tales trabajos tienden a solidificarse después de un pequeño descenso de la temperatura, y en consecuencia algunas veces resulta-

difícil conseguir una adhesión satisfactoria.

Deben tenerse baños de calentamiento para el asfalto, con objeto de disminuir los peligros de incendio. Puesto que el asfalto fundido es un mal conductor térmico, deben agitarse los baños calefactores con objeto de impedir el sobrecalentamiento. Es importante mantener la temperatura correcta por lo que deben usarse termómetros para controlar la temperatura del baño. Si la temperatura del bitumen es demasiado baja, el asfalto se espesará rápidamente cuando se saque del baño, obteniéndose de esta forma un tiempo menor de operación y manipulación para su adecuada aplicación. Si la temperatura es demasiado elevada, el asfalto sacado del baño resultará demasiado fluido para poderlo aplicar a la viscosidad que se precisa. Por ésto, deben seguirse las instrucciones de los fabricantes acerca de la temperatura de trabajo.

a.1.- Aplicación del aislante a la superficie: Sumergir el material aislante en el asfalto fundido y a continuación apretarlo con firmeza contra la superficie que vaya a ser aislada, hasta conseguir que se adhiera. El asfalto fundido puede aplicarse a brocha, cuando el tamaño o la forma del aislamiento hace difícil impregnar las superficies por inmersión. Las superficies interiores y los bordes del aislamiento deben quedar bien impregnados. Aplicar los subsiguientes trozos de aislamiento en una forma similar y presionarlos firmemente contra los que ya se han instalado de forma que las uniones queden totalmente rellenas con asfalto.

a.2.- Escalonar todas las uniones: Escalonar todas las uniones entre los tramos de aislamiento siempre que ésto sea factible.

a.3.- Fijar el aislamiento: El aislamiento con corcho en una sola capa puede fijarse a las tuberías de menos de 15 cm. de diámetro, mediante alambre galvanizado de 1.5 mm., pero para los otros tipos de aislamiento y tamaños de tubería o instalaciones utilídense bandas metálicas y espaciadas a intervalos máximos de 45 cm. Cuando se utiliza corcho, fijar las capas exteriores adicionalmente a la interior mediante brochetas de madera, empleando por lo menos una por tramo o placa. Las brochetas deben clavarse en un ángulo agudo respecto a la superficie y no deben atravesar hasta el metal aislado.

a.4.- Interrumpir el aislamiento cerca de las bridas, pero déjese el espacio suficiente para la extracción de los tornillos o espárragos de las bridas. Sellar extremos del aislamiento adyacente a las bridas con asfalto. (Para el aislamiento de las bridas se harán comentarios más adelante).

a.5.- Aislar la superficie del aislamiento: Raspar todos los salientes o protuberancias sobre la superficie del aislamiento, y llenar todas las muescas o entalladuras con un sellador bituminoso o con una mezcla de cemento Portland y una emulsión asfáltica.

b.- Montaje del aislamiento con adhesivos de endurecimiento en frío:

1.- Impregnar las superficies con adhesivo y dejar un período de presecado para que se desarrolle un determinado grado de "pegajosidad".

2.- Aplicar el aislamiento a la superficie: Con los adhesivos resinosos presionar firmemente el aislamiento contra la superficie que debe aislarse y sostenerlo firmemente hasta -

que haya endurecido el adhesivo. Con tuberías de pequeño diámetro esto puede hacerse mediante bandas de fijación permanente, para grandes tuberías se utilizan enflejamientos de caucho y bandas metálicas o alambres con los adhesivos basados en agua y disolventes se obtiene un agarre inmediato y no hay necesidad de utilizar un enflejamiento temporal para sostener el aislamiento en su sitio, el resto del procedimiento es similar al del asfalto fundido

c.- MONTAJE EN SECO: Se utiliza principalmente para tuberías de pequeño diámetro que funcionan aproximadamente a la temperatura ambiente, y donde se requiere una elevada sustitución del aislamiento en proyectos a corto plazo. La mitad de la sección del aislamiento debe aplicarse alrededor de la tubería y sostenerse en su sitio mediante cinta adhesiva, alambre galvanizado o mediante bandas metálicas a intervalos de 30 cm. En este método resulta especialmente importante que los lados adyacentes queden estrechamente unidos. Los restantes pasos a seguir son similares a los ya descritos.

3.6.2.- Aislamiento de Bridas, Válvulas y Montajes:

Deben aislarse con la misma clase de material que se utilice para el resto de la instalación.

a) Bridas: Existen cajas moldeadas de algunos materiales aislantes para bridas de tamaño estándar. En otros casos pueden cortarse trozos de aislante y darles la forma requerida para su acoplamiento. En las figuras siguientes se indican métodos clásicos para el aislamiento de uniones con bridas. Los espacios alrededor de la brida deben llenarse con corcho granulado por ejemplo; o con trozos de aislamien-

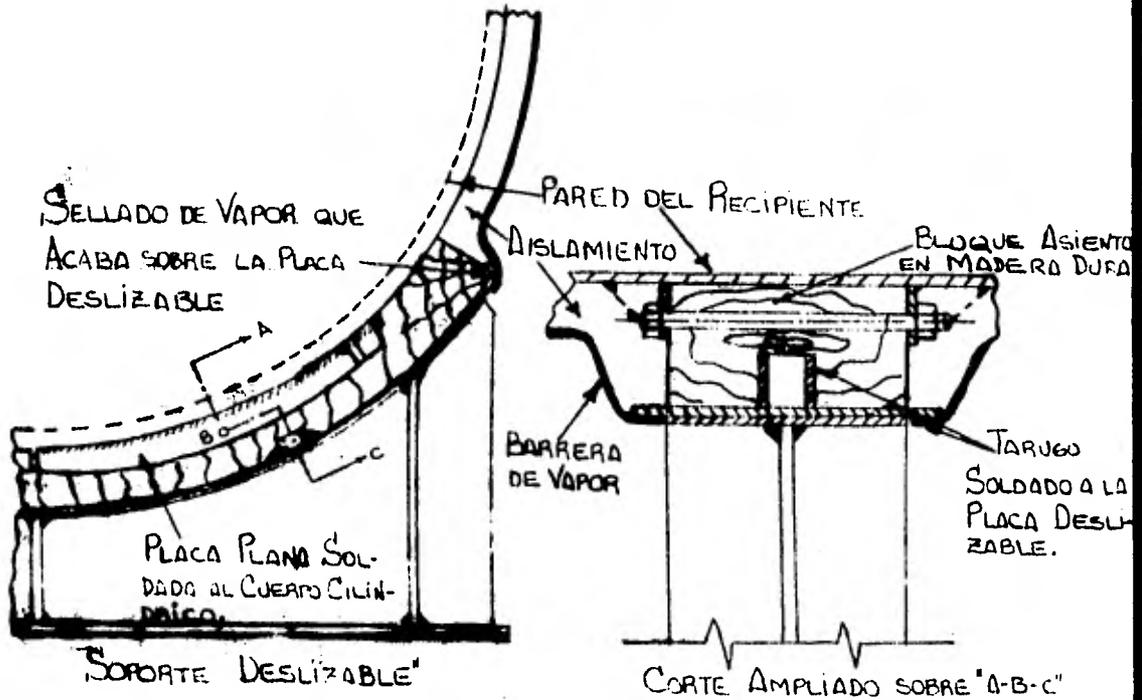
to a los que se les da la forma adecuada. Los albergues de las bridas no deben ir unidos directamente al aislamiento de la tubería o recipiente, sino fijadas separadamente.

Deben diseñarse secciones desmontables para permitir el libre acceso a las cabezas de los tornillos o pasadores. Las capas aislantes del vapor deberán encerrar completamente al aislamiento, de forma que pueden sacarse las tapas sin dañar al recubrimiento.

b) Válvulas y Montajes: Al igual que con las bridas, deben hacerse cavidades o alojamientos y rellenar los huecos con trozos de aislante sueltos. Las cavidades o cajas deben fijarse, no unir las simplemente al aislamiento principal de la tubería o recipiente, mediante bandas de acero galvanizado. En la figura siguiente se indica un método de aislamiento para el caso de una válvula de retención.

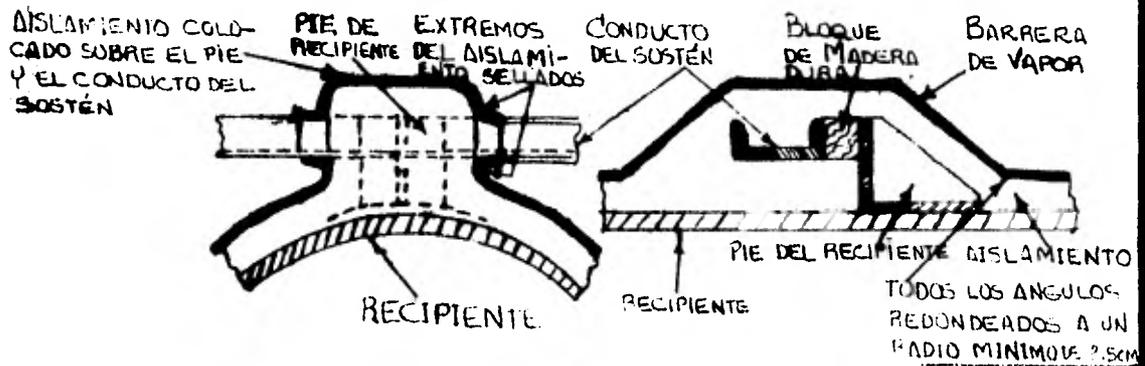
c) Aislamiento de los apoyos de tubería: Los apoyos o soportes de las tuberías no deben ajustarse alrededor de la propia tubería, ya que resulta difícil sellar la superficie del aislamiento a través de la cual sobresalen las abrazaderas y articulaciones, y la condensación tiende a aparecer en estos sitios. La carga de la tubería es soportada por el aislamiento si se utilizan apoyos externos. Las cargas ligeras pueden ser soportadas por el mismo material, pero deben utilizarse separadores de madera alrededor del aislamiento para conseguir la seguridad precisa para las cargas potentes.

Como variante pueden utilizarse apoyos metálicos para disminuir la carga unitaria sobre el aislamiento. Cuando se emplean separadores o apoyos de madera deben impregnarse todas las superficies con un adhesivo asfáltico antes de su -



AISLAMIENTO Y SOPORTES-ASIENTO PARA UN DEPOSITO

HORIZONTAL FRIO



AISLAMIENTO DE LOS PIES DE UN DEPOSITO

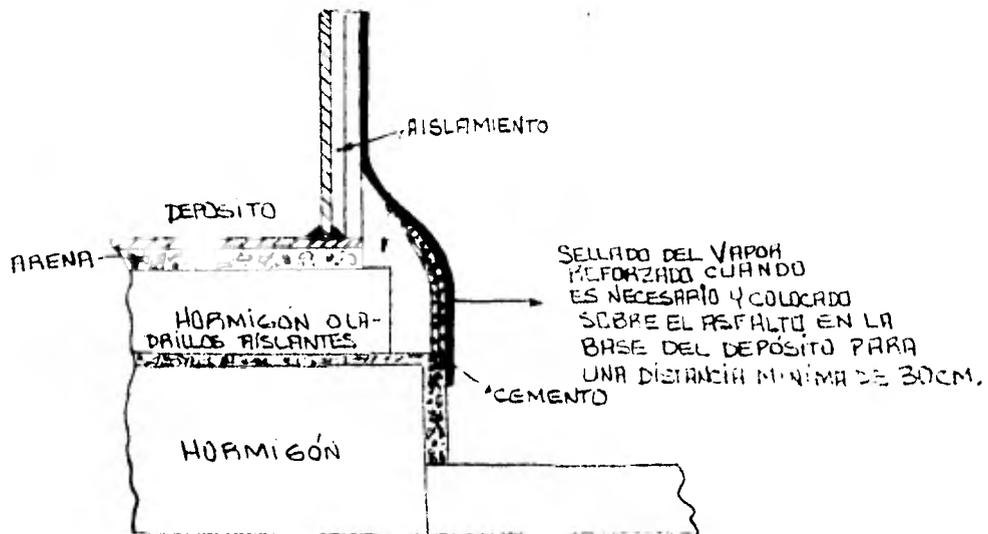
Figura 3.15.

TESIS PROFESIONAL

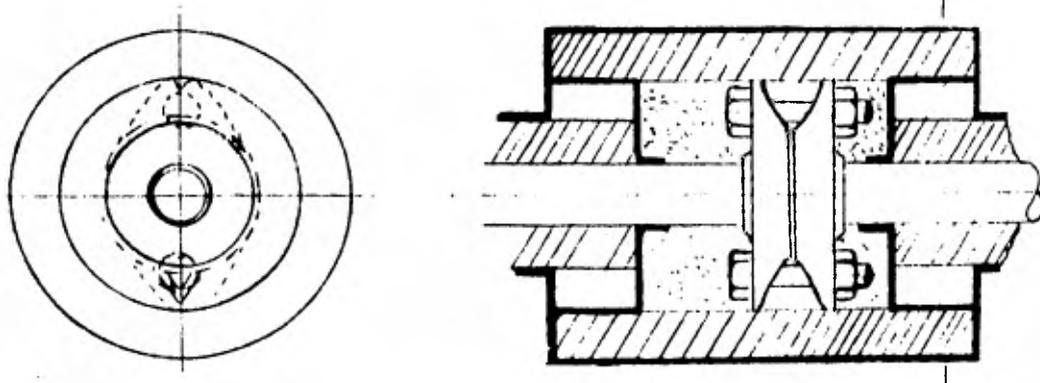
F.E.S.C.

José Rivera Posadas

Marzo U.N.A.M. 1982



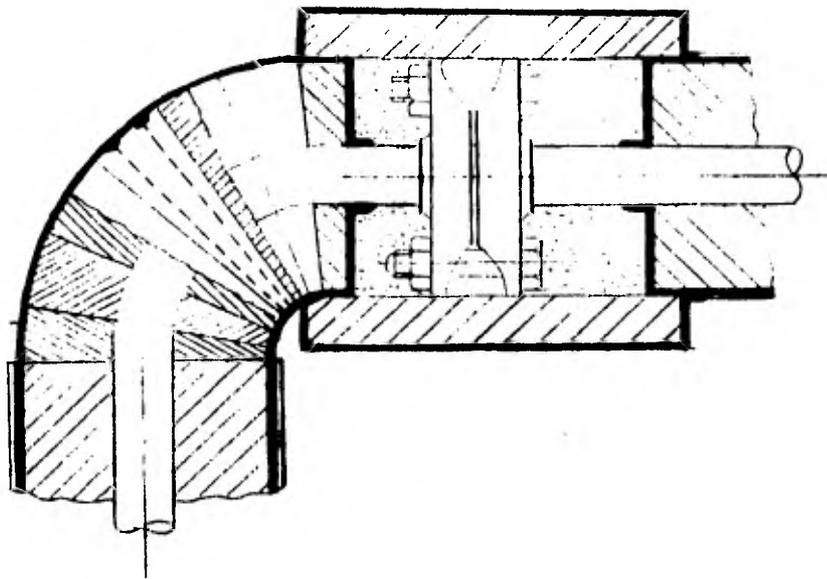
AISLAMIENTO DE LA BASE DE UN DEPÓSITO FRÍO.



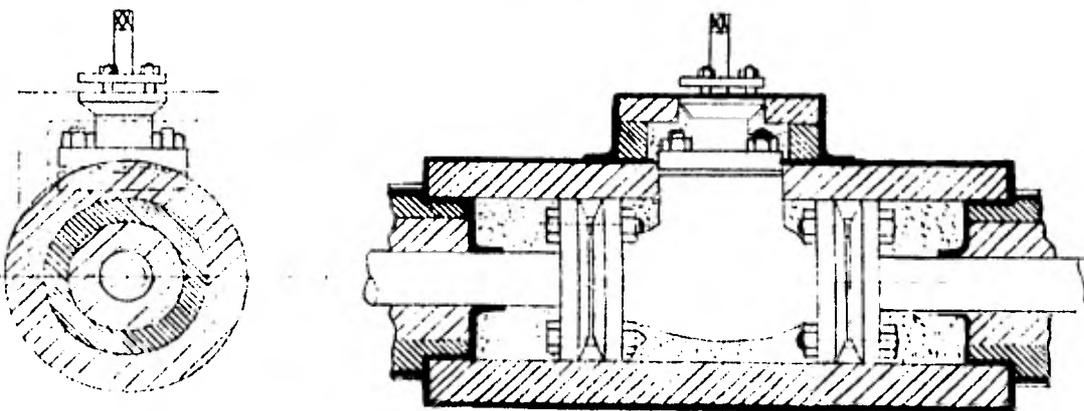
AISLAMIENTO DE UNA UNIÓN PROVISTA DE BRIDA

Figura 3.16.-

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.
José Rivera Posadas
Marzo U.N.A.M. 1982



AISLAMIENTO DE CODO Y BRIDAS.



AISLAMIENTO DE UNA VALVULA DE RETENCION

Figura 3.17.-

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.

José Rivera Posadas
Marzo U.N.A.M. 1982

montaje como se indica en la figura de soportes para montaje, donde se observan métodos aconsejables para la construcción de apoyos para las tuberías aisladas, mientras que en la tabla siguiente se indican las densidades y las cargas admisibles o tensiones de compresión de algunos materiales aislantes.

TABLA II.- DENSIDADES Y CARGAS DE COMPRESION ADMISIBLES QUE SE INDICAN PARA ALGUNOS MATERIALES AISLANTES.

<u>MATERIAL</u>	<u>DENSIDAD (Kg/m³)</u>	<u>TENSION DE COMPRESION ADMISIBLE QUE SE SU- GIERE (Kg/cm²)</u>
Corcho	128-144	menor de 0.7
Corcho	256	0.7
Ebonita Expandida (de poca potencia)	64	1.0
Ebonita Expandida (de gran potencia)	192	3.5
Vidrio Celular	128-160	2.5
Poliestireno Ce- lular	16-24	menor de 0.7
<hr/>		
Espuma de Poliu- retano	32	menor de 0.7
	64	1.0
	128	3.5
<hr/>		
PVC Expandido	40	1.0
	72	3.2
	304	18.3

8.7.- AISLAMIENTO DE UNA INSTALACION QUE FUNCIONA POR DEBAJO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE UTILIZANDO AISLAMIENTO DE ESPUMA APLICADO EN CAMPO.

Los materiales para aislamiento espumados en campo, se han introducido recientemente y aún no se han estandarizado. Es por lo que en general las siguientes observaciones están referidas para la espuma de poliuretano; este material puede aplicarse a pistola sobre la superficie que vaya a ser aislada o bien espumarse en campo.

Se ha efectuado mucha labor en la técnica de aplicación a pistola y se han hecho adelantos en el equipo que se emplea. Existe una dificultad principal o fundamental y estriba en que la espuma se expande mediante un factor de aproximadamente 20 después de la aplicación, de forma que las pequeñas imperfecciones o goteos en la superficie quedan multiplicados por 20 en el trabajo acabado.

Cuando se aplica el poliuretano a pistola, la superficie receptora deberá calentarse preferentemente alrededor de $-27-38^{\circ}$ C, para asegurar la correcta espumación. Además debe controlarse la temperatura de los líquidos empleados de acuerdo con las instrucciones de los proveedores para asegurar que la mezcla espume a la densidad requerida y conductividad correcta. El poliuretano aplicado a pistola, resulta especialmente adecuado en los casos en los que el tiempo está limitado.

La técnica que más se utiliza es la de espumar el aislamiento entre el recipiente que vaya a ser aislado. Durante la espumación se desarrollan considerables presiones. El aislamiento metálico resultará mucho más fuerte y resisten-

te a los inevitables riesgos en el uso de la instalación. Las fundas metálicas deben quedar espaciadas de la superficie que se quiere aislar. El espaciamiento puede efectuarse mediante bloqueo de espuma premoldeada (si es necesario, existen densidades especiales elevadas), pero también puede utilizarse otro aislamiento frío o incluso madera. Las envolturas metálicas deben mantenerse en su sitio mediante tornillos que no precisan abrir antes su agujero o mediante remaches tubulares, pero entre las hojas de la chapa metálica deben dejarse tiras de caucho o de un material parecido.

Las materias primas que se precisan para la producción de la espuma son: dos líquidos orgánicos, el agua y un agente humectante. Pueden producirse espumas que varían en la densidad aparente, textura y resistencia mediante la variación de las proporciones de estas materias primas. Deben consultarse los datos de los fabricantes en lo referente a los detalles de las mezclas que se aconsejan. Pueden introducirse "Arcton" y "Freon" dentro de la espuma, producen el efecto de reducir la conductividad térmica a valores muy bajos. Para los pequeños trabajos que solo implican unos pocos decímetros cúbicos de espuma, los dos productos químicos pueden mezclarse en un recipiente utilizando un agitador eléctrico que funcione por ejemplo a 1000 r.p.m. La velocidad es esencial, puesto que la formación de la espuma empieza en aproximadamente 15 seg. Para los trabajos a gran escala, existen máquinas de mezclado que dosifican las cantidades.

El líquido resultante debe verterse en su sitio lo más

rápidamente posible, teniendo la precaución de evitar salpicaduras que puedan provocar una gran oclusión de burbujas de aire.

No deben verterse más de 15 a 25 cm. de espuma. A este respecto deben ubicarse los líquidos en el espacio que se vaya a llenar, sabiendo que se producirá un incremento de 20 veces su volumen. Un sistema adecuado para los recipientes altos, es disponer agujeros de llenado a intervalos de 5 cm. de altura y verter el líquido suficiente dentro del espacio hasta llenar la hilera frontal de agujeros. Una vez que la espuma se ha endurecido lo suficiente, debe sellarse los agujeros, y se añade otra carga de líquido -- a través de la segunda hilera de agujeros de llenado, y así continúa repitiéndose la operación subsecuentemente.

Es grande la adhesión de la espuma de poliuretano a la mayoría de las formas de encofrado. Donde se piense eliminar parte o el total de la envoltura exterior, es necesario para ello utilizar un ingrediente de desmoldeo o separación.

Para esta modalidad puede utilizarse una hoja de polietileno o bien algunas grasas adecuadas que puedan ser recomendadas por algunos fabricantes de líquidos orgánicos.

3.8.- PROTECCION DEL AISLAMIENTO RIGIDO.

Los principales materiales protectores son compuestos bituminosos, hojas y cintas plásticas, y tejidos impregnados con vaselinas o grasa, a continuación se describe la aplicación de estos productos sobre el aislamiento rígido.

a) APLICACION DE COMPUESTOS BITUMINOSOS: Los compuestos bi

tuminosos pueden aplicarse sobre el aislamiento rígido sin reforzamiento, pero esto último hace mejorar la resistencia mecánica, y disminuye la tendencia que tienen los productos asfálticos a cuartearse.

La tela metálica galvanizada o la tela de fibra de vidrio son las más adecuadas. La tela se debe enrollar adecuadamente alrededor del aislamiento y fijarla con alambre o sujetarla con grapas, no deben quedar salientes, y se deben apretar contra el aislamiento todos los puntos o bordes que sobresalgan.

Los compuestos bituminosos deben aplicarse con brocha sobre la superficie y dejar que se sequen, a continuación, debe aplicarse una segunda capa hasta conseguir un acabado liso.

El espesor varía con el tipo de producto, por lo que deben consultarse catálogos de fabricante.

Las emulsiones asfálticas no deben aplicarse si la temperatura ambiente está por debajo de 1 °C, y deben protegerse de la lluvia hasta que estén bien secas. Cuando se emplea tela de fibra de vidrio como reforzamiento, debe aplicarse en primer lugar, una capa del producto asfáltico y estando todavía pegajosa dicha capa, se aplica la tela de fibra de vidrio, presionándola sobre la superficie bituminosa.

Durante la aplicación, debe aislarse la tela para que quede exenta de arrugas, y los bordes adyacentes deben solaparse por lo menos 5 cm., una vez que la primera capa esté seca, debe aplicarse una segunda capa; esta debe extenderse bien hasta obtener un acabado liso, posteriormen-

te se puede pintar con una pintura asfáltica.

b) APLICACION DE HOJAS Y CINTAS PLASTICAS: La superficie - del aislamiento y la cara interior de las hojas plásticas - deben impregnarse con adhesivo y dejar un presecado hasta - que el adhesivo se haga pegajoso, posteriormente debe colo - carse la hoja en su sitio, como si se tapizase una pared - dejando un traslape de 5 cm. en las uniones sobre curvatu - ras y protuberancias, debe cortarse la hoja plástica de -- forma que se ajuste bien.

Siempre que sea posible deben hacerse uniones de sola pamiento para que resulten impenetrables al agua. El aisla miento de bridas, válvulas y montajes, debe cubrirse con - la hoja plástica como se acaba de describir, y debe resul - tar independiente del aislamiento principal, el cual debe - sellarse mediante cintas plásticas.

Las cintas plásticas en las tuberías pequeñas deben - estar ya preparadas, impregnadas por un lado con adhesivo - se aplican enrollandolas alrededor de la tubería con un - traslape de por lo menos 2.5 cm. entre cada vuelta.

La superficie ~~de~~ las hojas plásticas debe sellarse mediante la aplicación de una o dos capas de PVC de laca, -- con ello se mejora el coeficiente de transmisión de vapor - de humedad y se protegen los bordes y juntas mal selladas.

c) APLICACION DE CINTAS IMPREGNADAS: La cinta impregnada - debe aplicarse enrollandola alrededor de la tubería o reci piente con un traslape de por lo menos 2.5 cm. los solapa - mientos deben presionarse bien unidos para producir el flu jo en el medio impregnante y asegurar de esta forma un se - llado efectivo, la cinta impregnada se amolda fácilmente -

sobre cualquier superficie. Nuevamente para válvulas, bridas y accesorios; debe quedar independiente el aislamiento principal y sellarse con cinta impregnada.

d) APLICACION DE CHAPA METALICA: Puede utilizarse sobre -- los materiales aislantes arriba mencionados para obtener -- protección adicional contra el deterioro mecánico. Se recomienda el aluminio de 1.2mm. de espesor o el acero galvanizado de 0.9 mm. La chapa metálica que no es necesaria para formar un sellado de vapor, debe fijarse mediante bandas -- metálicas; no es recomendable el uso de tornillos que no -- precisen abrir antes su barreno, o de remaches tubulares -- ya que pueden estropear el sellado de vapor.

3.9.- AISLAMIENTO DE RECIPIENTES UTILIZANDO RECUBRIMIENTO DE CHAPA METALICA.

Aparte de los usos anteriores, este material puede -- utilizarse como único recubrimiento protector, resulta de -- fácil aplicación en recipientes, en donde la chapa metálica es a menudo sencilla de aplicar, proporcionando una barrera de vapor.

Debajo de la chapa metálica puede utilizarse aislamiento rígido aún cuando el aislamiento de relleno resulte -- más barato. Puede ganarse rigidez adicional y mejorarse la apariencia mediante el uso de chapa metálica ondulada (muy ventajosa en grandes recipientes), sin embargo con ésta se incrementa el área y con ella el flujo térmico.

3.9.1.- APLICACION DE LA CHAPA METALICA: Deben aplicarse espaciadores sobre la superficie del depósito para -- conseguir el espesor necesario de aislamiento. El poliuretano y la ebonita expandida constituyen materiales de espaca

ciamiento adecuados que pueden unirse al recipiente. Los espaciamentos que se aconsejan son a intervalos de 1.8 m. a lo largo de los ejes del recipiente y a intervalo de 1.2 circunferencialmente.

Las chapas metálicas deben tener el tamaño máximo que permita su fácil manipulación. Para este tipo de instalación se puede utilizar con éxito chapas de 2.5 m. por 1.2 m. Deben unirse mediante pasadores, tornillos autoroscantes o soldadura.

La soldadura es difícil de llevar a cabo sobre las chapas de aluminio delgadas sin ocasionar ondulaciones, pero puede efectuarse con éxito utilizando la soldadura con arco en atmósferas de argón. Cuando no se suelde puede reforzarse la cobertura mediante la embutición de bridas de 2.5 o sobre las uniones circunferenciales y mediante la aplicación de pasadores o tornillos.

Debe insertarse cinta a base de caucho/asfalto en cada unión para efectuar su sellado.

3.9.2.- APLICACION DE AISLAMIENTO A BASE DE RELLENO SUELTO.

La chapa metálica debe aplicarse y fijarse en etapas cada etapa debe fijarse posteriormente mediante bandas metálicas a intervalos de aproximadamente 30 cm.

El aislamiento a base de relleno suelto debe de llenarse uniformemente a la densidad correcta entre la cobertura metálica y la superficie del recipiente. El llenado debe efectuarse por etapas en concordancia con la aplicación de la chapa metálica.

Cuando se ha llenado adecuadamente una etapa, debe aplicarse la siguiente; y continuarse el relleno, repitién

dose el relleno hasta que la altura total del tanque quede aislado y cubierto. El cierre final debe efectuarse mediante un aro de chapa metálica y debe sellarse con una tira de caucho/asfalto, o con cinta impregnada.

Los techos de los recipientes verticales deben aislarse en forma parecida, pero taparse con chapas metálicas segmentarias fijadas mediante tornillos sellandose las uniones tal como se ha descrito anteriormente. Los extremos abovedados de los recipientes horizontales, resultan más difíciles de tratar por esta forma y deben cubrirse preferentemente con aislamiento rígido antes de proceder a la aplicación de la chapa metálica segmentaria.

El cuerpo cilíndrico del recipiente puede aislarse con relleno suelto, tal como ya se ha descrito.

3.10.- AISLAMIENTO MEDIANTE CAJA FRÍA.

El aislamiento mediante caja fría, puede aplicarse a una gran gama de instalaciones; desde las que presentan pequeñas formas irregulares, hasta las unidades tales como las instalaciones que producen Oxígeno Líquido.

Este método implica la construcción de una caja metálica hermética, preferentemente de construcción soldada alrededor de la instalación, y el llenado del aislamiento de relleno suelto dentro de los huecos de la caja.

Para tales cajas frías, se utiliza generalmente lana mineral exenta de aceite, con un contenido de aceite inferior al 0.05%; y que presenta la ventaja de que pueden alcanzarse los elementos individuales en la caja mediante la tunelización a través de la lana mineral. El aislamiento con polvo de fluencia libre constituye una variante de ma-

terial que resulta muy fácil instalar, pero que debe vaciarse antes de poder llegar a alguna entrada o acceso de la instalación.

3.11.- AISLAMIENTO AL VACIO MEDIANTE POLVO.

Este método de aislamiento es muy especializado y solo se utiliza donde se requiere un aislamiento de gran eficiencia y baja conductividad térmica. El recipiente que va a ser aislado, se provee de una envoltura exterior que debe ser a prueba de fugas.

El recipiente se puede separar de la envoltura externa mediante bloque de madera o bloques plásticos laminados o bien puede suspenderse dentro de la envoltura mediante cadenas.

La corona circular entre el recipiente y la envoltura se llena con el polvo aislante y a continuación se evacúa a un vacío moderadamente elevado. Si es necesario, se efectúa un bombeamiento a intervalos para mantener el vacío requerido. Constituye una ventaja incluir un desgastador en la corona circular, cuando resulta difícil mantener el grado necesario de vacío mediante bombeo; tal como sucede por ejemplo con los recipientes transportables.

El desgastador toma la forma de un material absorbente, tal como la gel de sílice o la alúmina activada. Se mantiene a una temperatura baja al contacto con la superficie fría del recipiente interior, y bajo estas condiciones absorberá las pequeñas cantidades de gas que pueden ser las causantes de las pequeñas fugas en el sistema.

Se utilizan polvos aislantes de fluencia libre, por ejemplo la perlita expandida para facilitar el llenado y el vaciado del aislamiento, este se carga a la corona cir-

cular utilizando si es necesario, vibradores para asegurar la fluencia, y reducir la presión. Seguidamente se interrumpe el vacío y se cubre el aislamiento. A continuación se conecta la corona circular a la bomba hasta que se obtiene el vacío de funcionamiento o de servicio.

3.12.- AISLAMIENTO REFLECTIVO PARA LAS NECESIDADES INDUSTRIALES.

Los materiales metálicos para aislamiento reflectivo están teniendo una aceptación popular, como resultado de las nuevas técnicas de aplicación. Ciertos materiales debido a sus propiedades particulares, se pueden adaptar para reflejar el calor, no todos tienen las mismas propiedades, ni las mismas características, algunos pueden desempeñarse satisfactoriamente mientras están nuevos, pero pierden efectividad con el paso del tiempo, esto se debe principalmente a un cambio en su superficie, resultado de una disminución de reflectividad.

Las aplicaciones industriales del aislamiento térmico reflectivo, son escasas en la actualidad. En gran parte es debido a la necesidad de mayor conocimiento sobre este tipo de aislamiento. En ciertas aplicaciones, puede presentar más ventajas que los otros tipos existentes.

Una característica particular es que el aislamiento reflectivo tiene baja capacidad de almacenamiento de calor comparado con los aislamientos de polvo. Como ya se mencionó, el aislamiento reflectivo, se compone de una serie de hojas reflectoras, por lo que el calor se transmitirá de una hoja a otra por conducción a través del aire. Las co -

Corrientes de aire por convección, transportarán calor de la superficie de alta temperatura, hacia la de baja. Este movimiento normalmente se realiza hacia arriba, debido a la menor densidad del aire caliente.

Cuando las superficies reflectivas, se encuentran en una posición vertical, las corrientes de convección se moverán más rápidamente, entonces moverán más calor hacia la superficie de menor temperatura que las hojas (o espacios entre ellas), colocadas en posición horizontal.

Por esta razón, el movimiento de calor por convección debe estudiarse más cuidadosamente, cuando los espacios y hojas reflectivas, se encuentran localizadas verticalmente. El movimiento de aire por convección, puede restringirse, reduciendo el tamaño de los espacios de aire.

Mientras más pequeño sea el espacio de aire, mayor será la resistencia al movimiento de aire por convección; por consiguiente, menor cantidad de calor se moverá de una superficie a otra. Desafortunadamente, cuando el espacio de aire se reduce, el calor transmitido por convección se incrementa; por lo que el espacio de aire se debe determinar por su mayor efectividad.

El punto en el cual la combinación de transferencia de calor es mínima determina el espacio vertical de mejor eficiencia. El tercer medio por el cual puede transmitirse calor a el aislamiento es por radiación. Este mecanismo puede atenuarse usando hojas que reflejen el calor, de manera similar a como un espejo refleja la luz.

La reflexión de la luz, y la reflexión del calor, son sin embargo diferentes. Un metal puede ser un excelente reflector del calor pero un pobre reflector de la luz.

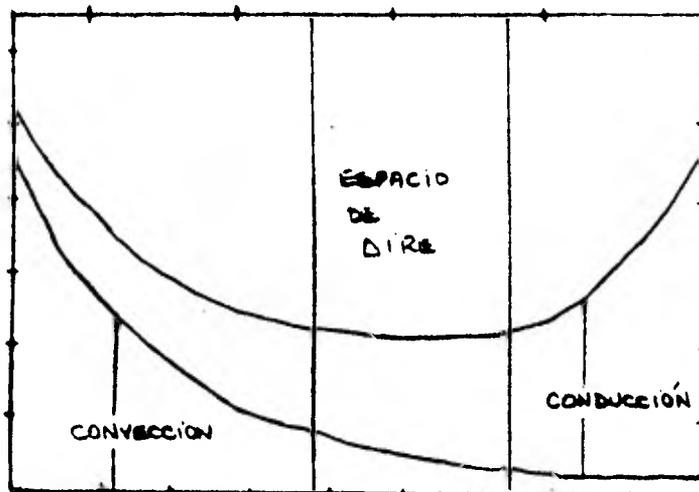


Figura 3.19.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION Y CONDUCCION PARA VARIOS ESPACIOS DE AIRE

La reflectividad se define como la propiedad de un material para reflejar el calor de su superficie. Sin embargo, en los cálculos de transferencia de calor; la superficie se evalúa por su emisividad, siendo esta la causa de la potencia emisiva total de cualquier cuerpo, a la potencia emisiva de un cuerpo negro a la misma temperatura.

Sin embargo, la mayoría de los metales poseen una baja emisividad cuando su superficie se encuentra limpia, brillante y pulida. La emisividad se incrementa cuando la superficie se empaña y oxida, como se observa en la tabla siguiente.

Si fuera posible mantener las superficies de bronce,-

TABLA III.- EMISIVIDADES DE ALGUNOS METALES.

METAL	ALTAMENTE PULIDO	OXIDADO
Aluminio	0.05	0.11
Bronce	0.03	0.61
Cobre	0.03	0.71
Hierro	0.29	0.73
Lámina de Acero	0.55	0.82
Plomo	0.07	0.63
Niquel	0.05	0.60

cobre, plomo, niquel, etc., pulidas y libres de óxidos, pu dieran resultar excelentes hojas reflectoras, el aluminio- sin embargo puede tener bajas emisividades, aún teniendo - su superficie oxidada, por lo que es el metal más recomen- dado para el aislamiento reflectivo.

Este tipo de aislamiento puede usarse para equipo y - tubería que opere a baja temperatura, y debe acompañarse - de una barrera de vapor, que prevenga la condensación y la humedad. Uno de sus principales inconvenientes es su apli- cación.

3.12.1.- AISLAMIENTO TERMICO REFLECTIVO EN CUARTOS DE ALMACENAMIENTO FRIOS.

El espesor y la densidad determinan la resistencia al flujode calor mientras que el número de hojas reflectivas y espacios determinan la resistencia a la conductividad.

Cosideremos la temperatura atmosférica de 24 °C ---

aproximadamente, y otras condiciones controladas, la tabla IV; puede usarse como una guía para determinar el número de hojas reflectivas requeridas para aislar un cuarto de almacenamiento a baja temperatura.

TABLA IV .- CANTIDAD DE HOJAS A UTILIZAR PARA EL AISLAMIENTO DE CUARTOS DE ALMACENAMIENTO FRÍOS.

TEMPERATURA DEL CUARTO DE ALMACENAMIENTO °C.	NUMERO DE HOJAS DE AISLAMIENTO REFLECTIVO.		
	TECHOS	MUROS	PISOS.
Entre 4 y -2	3	4	4
Entre -2 y -12	3	5	5
Entre -12 y -24	4	6	6
Entre -24 y -28	5	7	7
Entre -28 y -34	6	8	8

Las hojas reflectivas deben ser de un metal que refleje aproximadamente el 95% del calor radiante, y tenga una emisividad de 0.05 cuando sea nuevo.

Estas deben proporcionarse en ciertas medidas adecuadas para su instalación. Un delgado calibrador puede utilizarse para las capas intermedias, y otro para las exteriores las cuales están espuestas al abuso mecánico. La capa metálica exterior, debe ser de un espesor suficiente para soportar las cargas físicas ejercidas sobre ella, detalles de construcción se muestran en la figura 3.20.

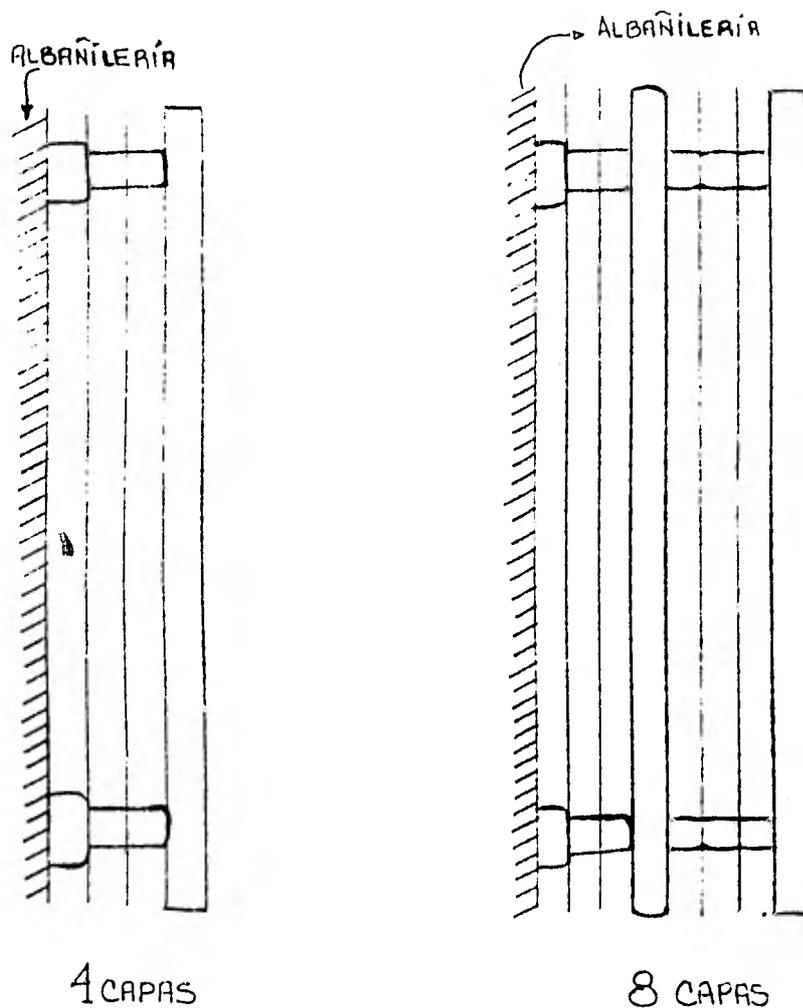


Figura 3.20.- APLICACION DE AISLAMIENTO REFLECTIVO A MUROS.

La tabla V., sirve como una guía para determinar el número de espacios requeridos para varias temperaturas de operación.

TABLA V.- NUMERO DE HOJAS REFLECTIVAS Y ESPESORES RE-
QUERIDOS PARA AISLAR TUBERIA OPERANDO A LAS
TEMPERATURAS LISTADAS.

TEMPERATURA °C	DIAMETRO TUBERIA. (cm)	NUMERO DE HOJAS REFLECTO -RAS.	ESPESOR DE AISLAMIEN- TO (cm)
De 483 a 565.5	3.8	5	6.3
	5 y 15	8	10.1
	20.3 y may	23.0	11.4
De 371 a 483	3.8 y menor	4	5.0
	5 a 15	7	9.0
	20.3 y may	8	10.1
De 316 a 371	3.8 y menor	3	3.8
	5 a 10	5	6.3
	12.7 y may	6	7.6
De 260 a 315	10.1 y menor	3	3.8
	12.7 a 20.3	4	5.0
	25.4 y may	5	6.3
De 205 a 260	10.1 y menor	3	7.6
	12.7 y may	2	10.1
De 149 a 205	3.8 y menor	2	2.5
	5 a 20.3	3	3.8

TABLA V .- C O N T I N U A C I O N .

TEMPERATURA °C	DIAMETRO TUBERÍA	NUMERO DE HOJAS RE- FLECTORAS	ESPESOR DE AISLAMIENTO (cm)
De 149 a 205	25.4 y may	4	5
De 94 a 149	20.3 y menor	2	2.5
	25.4 y may	3	3.8
Menores de 94	Todos los Diámetros	2.	2.5

3.12.2.- APLICACION.

Para aislar tuberías y accesorios, se utilizan prefomados, los cuales se aseguran con bandas o contenedores.

El aislamiento de accesorios se aplica de la misma manera y este se asegura con bandas o tornillos. Por lo demás se siguen los mismos procedimientos descritos anteriormente.

3.12.3.- NECESIDADES Y COTIZACIONES DE AISLAMIENTO.

La erección del aislamiento en una planta, usualmente se encarga a una firma especializada. El subcontratista -- del aislamiento, debe primeramente delinear el desarrollo del proyecto de tal forma que sus planes puedan desarrollarse en conjunto con los del contratista encargado de la erección de la planta.

En el momento en que se formulan las necesidades del aislamiento, aún todavía no se han desarrollado los detalles del diseño de la planta.

Quizás solo el Diagrama de Flujo de Ingeniería, al gún plano de plantas y elevaciones, y quizás varios estudios preliminares de áreas se hayan hecho. Es necesario por consiguiente; que a el contratista del aislamiento se le proporcione una completa descripción de los requerimientos y necesidades de aislamiento, para que éste se pueda cotizar.

Debido a el limitado número de dibujos disponibles en el momento de la requisición; la estrecha comunicación entre el contratista de aislamiento con el contratista de la obra, es esencial. Una requisición de aislamiento, incluye una descripción del trabajo con referencia a los dibujos apropiados, también las normas de aislamiento correspondientes, deben proporcionarse; estas deben de incluir el tipo de aislamiento a utilizar, así como los métodos de instalación.

Una clara descripción de costos, mano de obra, y procedimiento de instalación, debe realizarse para que la cotización sea ampliamente discutida. Una lista completa de todas las líneas a aislar debe incluirse con la requisición.

Esta debe mostrar las temperaturas de operación y el espesor del aislamiento. Todo el equipo como recipientes e intercambiadores, deben describirse de tal forma que la cantidad y el tipo de aislamiento seleccionar.

A efecto de totalizar un suspenso de precios de aisla

miento, deben requisicionarse todos los diámetros de la tubería, accesorios, válvulas y recipientes por separado y anticipadamente.

La estrecha comunicación con el proveedor del material aislante, puede reducir la cantidad de trabajo involucrado

RECOMENDACIONES

96 FORMA FÍSICA \ APLICACION	TUBERIAS	RECIPIENTES	BRIDAS, VALVULAS Y CONEXIONES.	MISCELANEOS.
RIGIDA	SE RECOMIENDA PARA EL USO EN GENERAL.	NO SE RECOMIENDA CUANDO ES PROBABLE QUE SE PRODUZCAN EXCESIVAS TENSIONES DE DILATACION TERMICA.	ACONSEJABLE	NO SE RECOMIENDA
RELLENO SUELTO	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	SE RECOMIENDA SI PUEDE ENCAJARSE LA FORMA EN UNA CAJA.
FLEXIBLE	SOLAMENTE SE RECOMIENDA CUANDO VA A UTILIZARSE ENVOLTURA METALICA	SE RECOMIENDA PARA EL USO GENERAL	SE RECOMIENDA ESPECIALMENTE CUANDO SE REQUIERE UN ACCESO FRECUENTE	SE UTILIZA PERO RESULTA MENOS SATISFACTORIO QUE EL AISLAMIENTO PLASTICO DEL RELLENO SUELTO
BANDA FLEXIBLE	SE RECOMIENDA PARA INSTALACIONES MUY PEQUEÑAS Y PARA TRABAJOS TEMPORALES.	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA
PLASTICO	SE RECOMIENDA PARA SISTEMAS COMPLEJOS.	SE RECOMIENDA EN FORMA PULVERIZADA PARA GRANDES RECIPIENTES.	SE RECOMIENDA PARA VALVULAS PEQUEÑAS CUANDO SE UTILIZAN MATERIALES RIGIDOS EN EL SISTEMA	SE RECOMIENDA CUANDO RESULTA DIFICIL EL ENCAJAMIENTO; SE ACONSEJA LA FORMA PULVERIZABLE, PARA CANALIZACIONES RECTANG.
LAMINA	NO SE RECOMIENDA	PUEDE USARSE EN EL CASO QUE SE REQUIERA GRAN LIGEREZA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA

MATERIALES AISLANTES Y RECUBRIMIENTOS PROTECTORES

USD	I. Y P.M	I. Y P.M.	P.M. SOLAMENTE	I. Y P.M.	I. SOLAMENTE	I. SOLAMENTE
RECUBRIMIENTO FÍSICO DEL AISLAMIENTO	CHAPA METALICA	ASBESTO CEMENTO	COMPOSICION AISLANTE DE ENDUCCION RECUBRIMIENTO DUO	COMPUESTO ASFALTICO O BITUMINOSO	CINTA IMPERMEABLE CON PVC Y LAMINA DE POLI-ISOBUTILE	CARTON ALQUITRANADO
RIGIDO	MUY BUENA NORMALMENTE RESULTA CARA	MUY BUENO SOBRE TELA METALICA	BASTANTE SATISFACTORIO ENCIMA DE TELA METALICA. NECESITA SER IMPERMEABLE EN EXTERIORES.	BUENO ENCIMA DE TELA METALICA.	BUENO	BASTANTE SATISFACTORIO CUANDO SE FIJA CON TELA METALICA
RELLENO SUELTO	RECOMENDABLE	NO SE ACONSEJA	NO SE ACONSEJA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA
FLEXIBLE	MUY BUENO	PUEDE UTILIZARSE ENCIMA DE METAL Y EN CONDICIONES ATMOSFERICAS CORROSIVAS.	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA
PLASTICO	MUY BUENO NORMALMENTE RESULTA CARO	MUY BUENO ENCIMA DE TELA METALICA	BASTANTE SATISFACTORIO ENCIMA DE TELA METALICA. NECESITA SER IMPERMEABLE PARA EXTERIORES.	BUENO ENCIMA DE TELA METALICA	BUENO	BASTANTE SATISFACTORIO CUANDO SE FIJA CON TELA METALICA
LAMINA	MUY BUENO	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA	NO SE RECOMIENDA

I. IMPERMEABLE

P.M. = PROTECCION MECANICA

PROPS. DE ALGUNOS MATERIALES AISLANTES ADECUADOS PARA LA PROTECCIÓN DE TUBERÍA CONTRA CONGELACIÓN Y CONDENSACIÓN

MAXIMA TEMPERATURA ADMISIBLE EN EL LÍQUIDO CALIENTE	NOMBRE POPULAR	ESTRUCTURA	DENSIDAD APROXIMADA KG/M ³	CONDUCTIVIDAD TERMICA W/M °C	% DE ABSORCIÓN DE AGUA EN VOLUMEN	PERMEABILIDAD AL VAPORES DE AGUA	RESISTENCIA A:			CALOR ESPECIFICO	OBSERVACIONES.
							LA TRANSMISIÓN AL VAPORES DE AGUA	LA INFLAMABILIDAD	DETERIORADO MECANICO		
50 °C	EBONITA EXPANDIDA	CELULAR	64		1.5	0.12x10 ⁻⁵	MUY BUENA	INCOMBUSTIBLE	DE REGULAR A BUENA	0.3	SE ENCOGE CUANDO QUEDA EXPUESTO AL CALOR, O A LOS RAYOS SOLARES.
76-79	POLIESTIRENO EXPANDIDO.	CELULAR	16-32		0.6-3	1.16x2.32x10 ⁻⁵	DE REGULAR A BUENA	MALA	REGULAR	0.2	PUEDEN OBTENERSE CALIDADES INCOMBUSTIBLES. 1.16; ES NORMALMENTE PARA REVESTIMIENTO DE TUBERIA.
65.5	CORCHO SECCIONADO	CELULAR	112 @ 192		12	6.28-8.3x10 ⁻⁵	REGULAR	REGULAR	BUENA	0.4	-
149	POLIURETANO	CELULAR	32 @ 40		DE BAJO @ ALTO	2.9-11.1x10 ⁻⁶	REGULAR @ BUENA	MALA @ BUENA	BUENA	0.3	PUEDEN CONSEGUIRSE CALIDADES INCOMBUSTIBLES.
260	LANA DE VIDRIO CON RESINA	FIBROSA.	112 @ 160		REFELENTE A EL AGUA	ELEVADO	MALO	BUENA	REGULAR	0.2	PUEDE QUEMARSE EL LIGANTE
260	LANA MINERAL CON RESINA	FIBROSA.	144 @ 160		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
815	LANA DE ESCORIA CON RESINA	FIBROSA.	144 @ 160		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
138	POLIURETANO	CELULAR	32 @ 48		ELEVADO	✓	✓	DE MALO @ BUENO	BUENO		PUEDEN CONSEGUIRSE CALIDADES INCOMBUSTIBLES.
149	LANA DE ESCORIAS	FIBROSA	112 @ 144		✓	✓	✓	BUENO	MALO	0.2	SE QUEMARA EL CAÑAMAZO
482	LANA DE VIDRIO	FIBROSA.	128		✓	✓	✓	✓	✓	✓	PUEDE QUEMARSE LA COBERTURA DE PAPEL O DE ALGODON
760	LANA MINERAL	FIBROSA	96 @ 144		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

PROPIEDADES DE ALGUNOS MATERIALES PARA BARRERA DE VAPOR

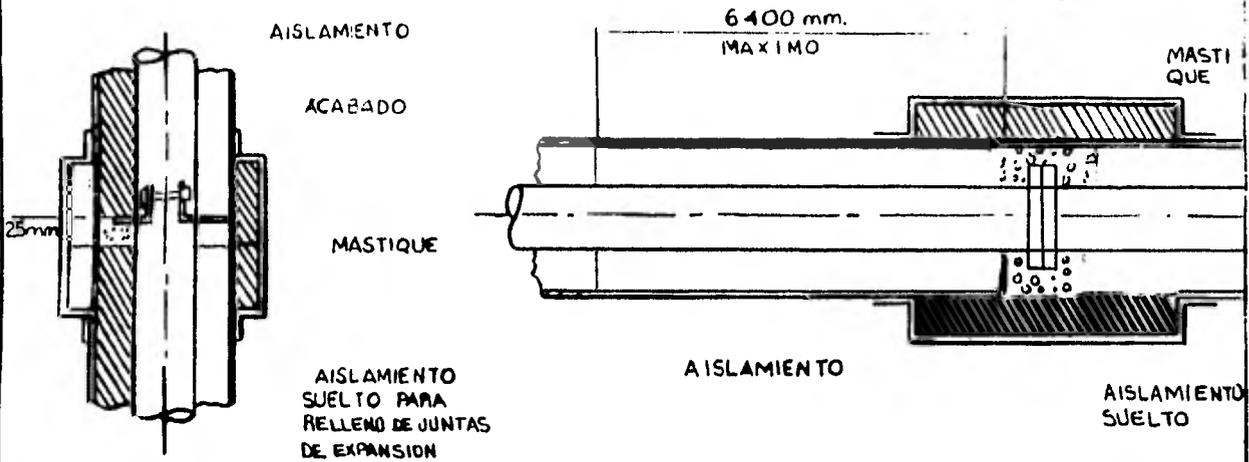
MATERIAL	DESCRIPCION	TIEMPO DE SE- CADO (HORAS)	DENSI- DAD EN Kg /LT.	DISOL- VENTE	PERMEA- BILIDAD EN <small>EXCEPTO EN CONDICIONES INDI-</small>	RECUBRIMI- ENTO EN M ² /M ³ EN UNA CAPA	U.S.O.S	INTERVALO DE TEMPERATURA (EN LA SUPERFI- CIE EXTERIOR °C)
FINKOTE TIPO 7	EMULSION ASFALTICA CON MATERIAL FIBRO- SO DE APLICACION MANUAL	24@ 28	1.1	AGUA	9.0	Kg (PARA 3.2 mm EN SECO)	COMO IMPERMEABILIZAN- TE Y COMO BARRERA DE VAPOR.	-
F-TIPO 7 PARA BROCHA	ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO PARA APLICACION A BROCHA	24	1.01	AGUA	1.95	1435 @ 2000	PARA EL SELLADO DE VA- POR; DEBE PROTEGER- SE DE LA LUZ DIURNA NATURAL CON PINTURAS DE ACEITE ADECUADO COMO BARRERA DE VAPOR. DEBE APLI- CARSE EN DOS CAPAS	-
AQUASEAL 1742 B	ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO. RECUBRIMIENTO TENAZ DE BAJA PERMEA- BILIDAD PARA APLICACION MANUAL. MUY DURADERO	48	1.04	AGUA	13×10^{-5} g/cm ² h x cm x mm/hg	369 - 410	PARA OBTENER UN ESPE- SOR HUMEDO DE 2.54 mm Y 1.6 mm EN SECO UN SELLADOR DEL VA- POR QUE SE UTILIZA GENERALMENTE SO- BRE EL LADO CALIENTE DEL AISLAMIENTO. SE ACONSEJA PARA LA APLICACION CUANDO EL AISLAMIENTO SE EFECTUA EN CANALIZACIONES O - ZANJAS O EN CONDICIONES DE ELEVADA HUMEDAD	HASTA 38°C
KINGS- NORTH 25	ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO. EMULSION DE CONSISTENCIA MANTECOSA. DESPUES DEL SECADO QUEDA INODORA	24-28	1.02	AGUA	0.5	615	LA SUPERFICIE TENAZ Y SU FLEXIBILIDAD DEL MATE- RIAL INCREMENTAN SU RESISTENCIA AL DETERIORO	HASTA 38°C
COMARIES- TOS PLASTI- COS. "BITULAC"	LIGANTE A BASE DE ASFALTO Y ACEITE CON CARGA Y DISOLVEN- TE DE APLICACION MANUAL.	-	-	HIDRO CARBU- ROS.	-	1845 @ 2214 (ENTRE 3.2 Y 4.8 mm)	SE APLICA EN FORMA DE LAMINA CON UN ADHESIVO ADECUADO. ES INFLAMABLE	-
"BITULAC" 328)	EMULSION DE ASFALTO MO- DIFICADO CON CAUCHO PA- RA APLICACION MANUAL.	48	1.03	AGUA	-	APROX. 615	SE APLICA EN FORMA DE LAMINA CON UN ADHESIVO ADECUADO. ES INFLAMABLE	-
HOJAS DE POLIISO- BUTILENO	DISPONIBLE EN HOJAS DE 1mm } 1.5 " } DE GROSOR	-	-	-	-	PERMITE UN SOPLADO DE APROX 10cm	SE APLICA EN FORMA DE LAMINA CON UN ADHESIVO ADECUADO. ES INFLAMABLE	DE -29 HAS- TA +65.5 °C

CONTINUACION

MATERIAL	DESCRIPCION	TIEMPO DE SECADO (HRS.)	DENSIDAD EN Kg/LT	DISOLVENTE	PERMEABILIDAD EN	RECUBRIMIENTO M ² /M ³ EN UNA CAPA	USOS	INTERVALLO DE TEMPERATURA EXTERIOR. °C
HOJA DE POLIES-TER. (MYLAR MELINEX)	HOJAS TENACES, RESISTENTES AL DESGARRO, IMPERMEABLES Y FLEXIBLES EN GROSORES DE: 25, 50, Y 75 MICRAS.	-	-	-	0.001	PERMITE UN SOPLADO DE APROXIMADAMENTE 10 cm.	PUEDE USARSE EN INTERIORES Y PEGARSE CON ADHESIVOS O MEDIANTE EL SELLADO TERMICO. RESISTE ACEITE, DISOLVENTES Y PRODUC. QUIM.	HASTA 105
BASE DE TEXI HOOK REVESTIDA CON TEXALAG TIPO 23	TELA REVESTIDA CON PVC SELLADA CON UN COPOLIMERO DE PVC/PVA	0.25	-	-	APROXIMADAMENTE 100 GR POR CM ² H. M. PARA LA	PERMITE UN SOLAPADO DE APROXIMADAMENTE 10 cm	SE APLICA EN DISCAPAS CON EL COMPUESTO SELLANTE MANUALMENTE O A PISTOLA	HASTA 71
PELICULA IMPEAMERABLE. VITRILICA.	PROPORCIONA UNAS PROPIEDADES SELLANTES MUY BUENAS	-	-	-	EXCELENTE	-	APLICACION GENERAL	-
CINTA DE POLIETILENO (AUTO-ADHESIVA)	ROLLOS COLOREADOS TENACES Y FLEXIBLES EN ESPESORES DE: 75 MICRAS 100 MICRAS 125 " "	-	-	-	156 g/m ² 24h @ 40 °C Y 100% DE HUMEDAD RELATIVA	PERMITE UN SOLAPADO DE 12 mm.	ALGUNAS VECES SE UTILIZA COMO UNA ENVOLTURA DE ESPIRAL SOBRE EL AISLAMIENTO. NO SE RECOMIENDA SOBRE TUBERIAS INSTALADAS CERCA DE PAREDES O TUBERIAS.	-6.7 @ 82.
CINTA DENSO	CINTA DE DIBUJO ABIERTO IMPREGNADA CON VASELINA Y CARGA INERTE DISPONIBLE EN ANCHURAS DESDE 2.54 HASTA 84 cm.	-	-	-	MUY BAJA	PERMITE UN SOLAPADO DE 12 mm.	ALGUNAS VECES SE UTILIZA COMO UNA ENVOLTURA EN ESPIRAL SOBRE EL AISLAMIENTO. NO SE RECOMIENDA EN TUBERIA INSTALADA CERCA A UNA PARED O A OTRAS TUBERIAS.	-45.5 @ 54.5°

APLICACION ESPECIFICA DE ALGUNOS MATERIALES AISLANTES

APLICACION EN RECIPIENTES Y EQUIPO	MATERIAL AISLANTE	DESCRIPCION Y FORMA FISICA	ACABADO
SUPERFICIES PLANAS Y CILINDRICAS DE RECIPIENTES Y TANQUES CON DIAMETROS DE 3.6 M. Y MENORES. DE CAMBIADORES DE CALOR Y DE FALDONES DE RECIPIENTES.	ESPUMA RIGIDA DE URETANO (*) POLIESTIRENO CELULAR POLIURETANO CELULAR FIBRA DE VIDRIO (***)	(*) VIENE CON BARRERA DE VAPOR APLICADA EN FABRICA; CUBIERTA RETARDANTE AL FUEGO; PERMEABILIDAD DE 0.01 PEAM. NO ES COMBUSTIBLE. SE SUATE EN PLACA Y PREFORMADO PARA TUBO. (**): VIENE CON BARRERA DE VAPOR APLIC. EN FABRICA, CUBIERTA RETARDANTE AL FUEGO.	PUEDE SER DE DOS TIPOS: 1.- CHAQUETA DE ALUMINIO O DE ACERO INOXIDABLE. DONDE LA LAMINA DE ALUMINIO COMO LA DE ACERO INOXIDABLE, PUEDE SER LISA O CON CORRUGACIONES. 2.- BARRERA DE VAPOR PARA RECIPIENTES Y EQUIPO.
CABEZAS DE RECIPIENTES Y TANQUES CON DIAMETROS DE 3.6 M. Y MENORES Y DE CAMBIADORES DE CALOR.	1.- ESPUMA RIGIDA DE URETANO 2.- POLIESTIRENO CELULAR 3.- POLIURETANO CELULAR 4.- FIBRA DE VIDRIO	(*) IDEM (***) IDEM	SE RECOMIENDA UNA CUBIERTA DE MASTIQUE REFORZADO PARA CABEZAS DE RECIPIENTES, EQUIPO, VALVULAS, BAJAS Y CONEXIONES DE TUBERIA EN COMPLEMENTO CON UNA BARRERA DE VAPOR PARA CONEXIONES.
SUPERFICIES PLANAS, O CILINDRICAS, DE TANQUES DE MAS DE 3.6 M. DE DIAMETRO.	1.- POLIURETANO CELULAR 2.- POLIESTIRENO CELULAR 3.- VIDRIO CELULAR	1.-, 2.- y 3.- : LA PRESENTACION COMERCIAL DE ESTOS TIPOS; ES EN FORMA DE PREFORMADO Y PLACA. TODOS POSEEN BARRERA CELULAR.	SE LE PUEDE ADICIONAR BARRERA DE VAPOR, ASI COMO UNA CUBIERTA RETARDANTE AL FUEGO.
EN TUBERIA: 1.- TRAMOS RECTOS	1.- ESPUMA RIGIDA DE URETANO 2.- POLIURETANO CELULAR 3.- FIBRA DE VIDRIO	(*) IDEM (***) IDEM	CHAQUETAS DE ALUMINIO O DE ACERO INOXIDABLE PARA TUBERIA, CON SU CORRESPONDIENTE BARRERA DE VAPOR.
2.- VALVULAS, BAJAS Y CONEXIONES.	1.- ESPUMA RIGIDA DE URETANO 2.- POLIESTIRENO CELULAR 3.- POLIURETANO CELULAR 4.- FIBRA DE VIDRIO.	(*) IDEM (***) IDEM	CUBIERTA DE MASTIQUE REFORZADO PARA CABEZAS DE RECIPIENTES EQUIPO, VALVULAS, BAJAS Y CONEXIONES DE TUBERIA. JUNTO CON UNA BARRERA DE VAPOR PARA CONEXIONES Y PARTES IRREGULARES.



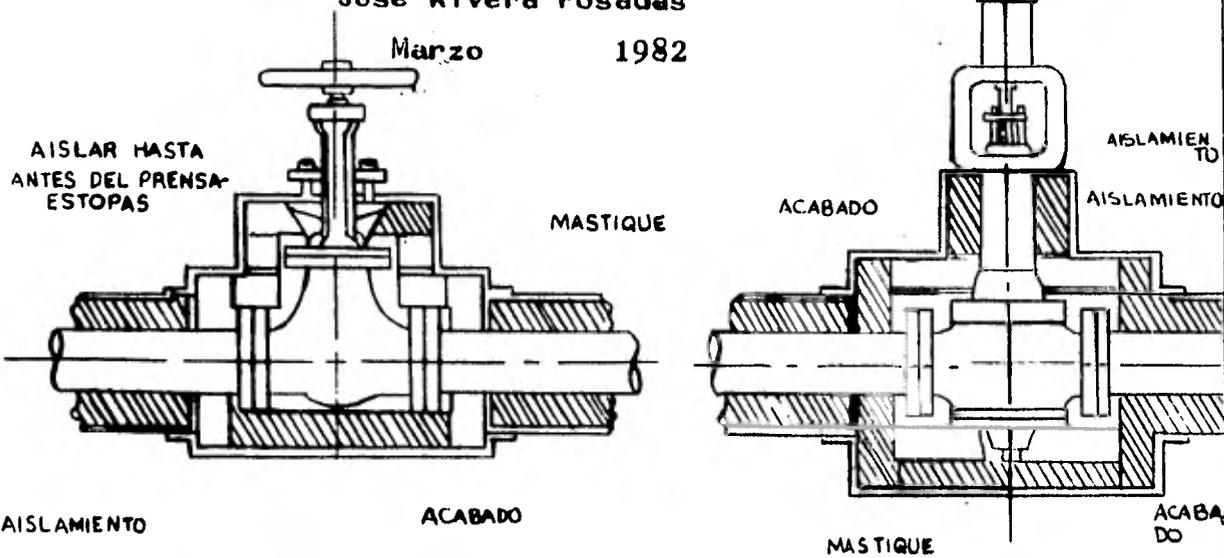
SOPORTES DE AISLAMIENTO EN TUBERIA VERTICAL

SELLADO CONTINUO DE AISLAMIENTO DE TUBERIA

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.

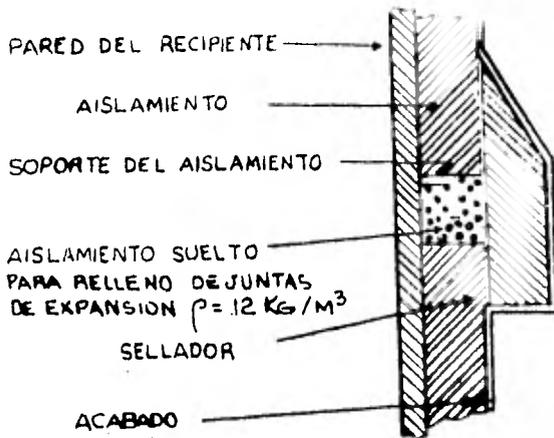
José Rivera Posadas

Marzo 1982

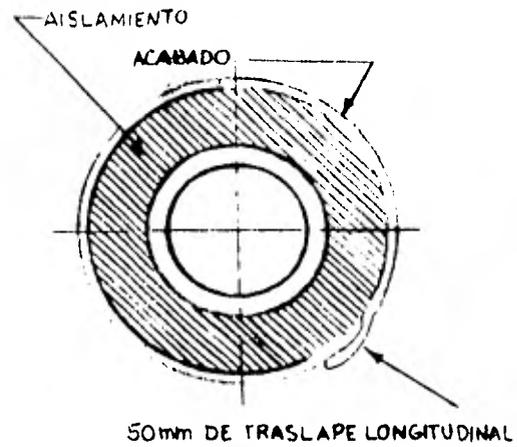


AISLAMIENTOS PARA VALVULAS MANUALES

AISLAMIENTO PARA VALVULAS DE CONTROL



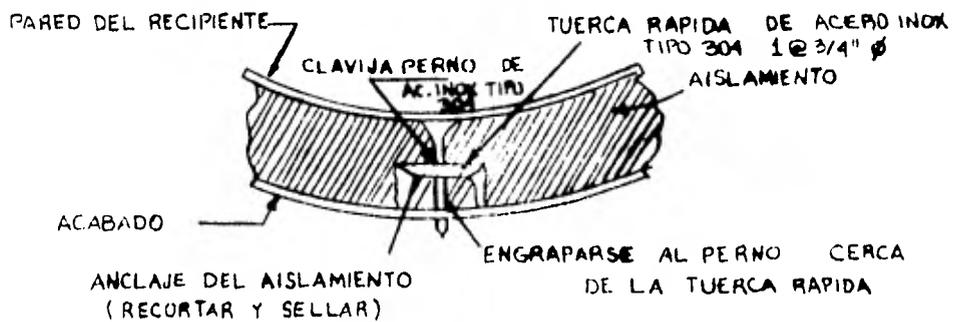
A



B

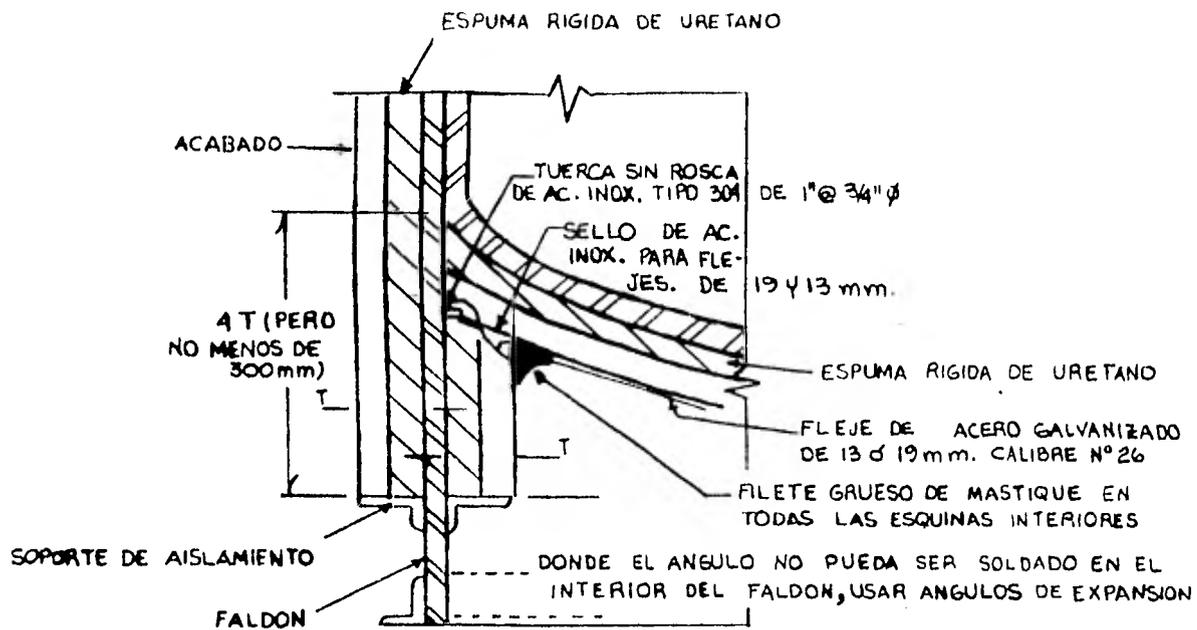
CUBIERTAS DE ALUMINIO TUBULAR

FORMA DE AISLAR LOS SOPORTES DE AISLAMIENTO EN RECIPIENTES



Dibujo Esquemático de aislamiento en Recipientes, Cabezas y Faldones. (Para Fibra de Vidrio).

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.
José Rivera Posadas
Marzo 1982



DIBUJO ESQUEMATICO DE
 AISLAMIENTO CON ESPUMA RIGIDA DE URETANO
 EN FALDONES DE RECIPIENTES

TESIS PROFESIONAL,
 F.E.S.C.
 José Rivera Posadas
 Marzo 1982

C A P I T U L O I V .

"ANÁLISIS PARA DETERMINAR EL ESPESOR ECONOMICO"

4.1.- EL AISLAMIENTO DE SUPERFICIES FRIAS.

El espesor del aislamiento aplicado sobre una superficie fría, puede determinarse por varios métodos como:

- a) Ganancia de Calor Máxima Permisible.
- b) Espesor Económico.

En muchos casos, el espesor aplicado, es el que se precisa para elevar la temperatura superficial del aislamiento por encima del punto de rocío para evitar la condensación. Para las tuberías de agua fría, puede precisarse una protección para evitar la congelación del agua.

4.2.- CRITERIO PARA EL DISEÑO DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO.

Consideremos que al aislar una superficie fría, la transmisión térmica a través del aislamiento, es igual al calor absorbido por la parte externa del aislamiento, es decir, el calor ganado por convección mas el calor ganado por radiación. Entonces:

$$Q = Q_r + Q_c \quad (1)$$

4.2.1.- FLUJO TERMICO.

Consideremos la figura 4.1, para superficies planas y cilíndricas. En el caso de superficies planas, la velocidad de flujo térmico a través del sistema viene dada por:

$$Q = \frac{k(T_2 - T_1)}{L} \quad (2)$$

Para una superficie curva, figura 4.1.b, tenemos:

$$Q = \frac{2\pi k(T_2 - T_1)}{\ln(d_2/d_1)} \quad (3)$$

O lo que es lo mismo:

$$Q = \frac{2.729 k (T_2 - T_1)}{\log (d_2/d_1)}$$

(al haber pasado a logaritmos decimales). De la figura -- 4.2, pueden obtenerse los valores de $\ln(d_2/d_1)$.

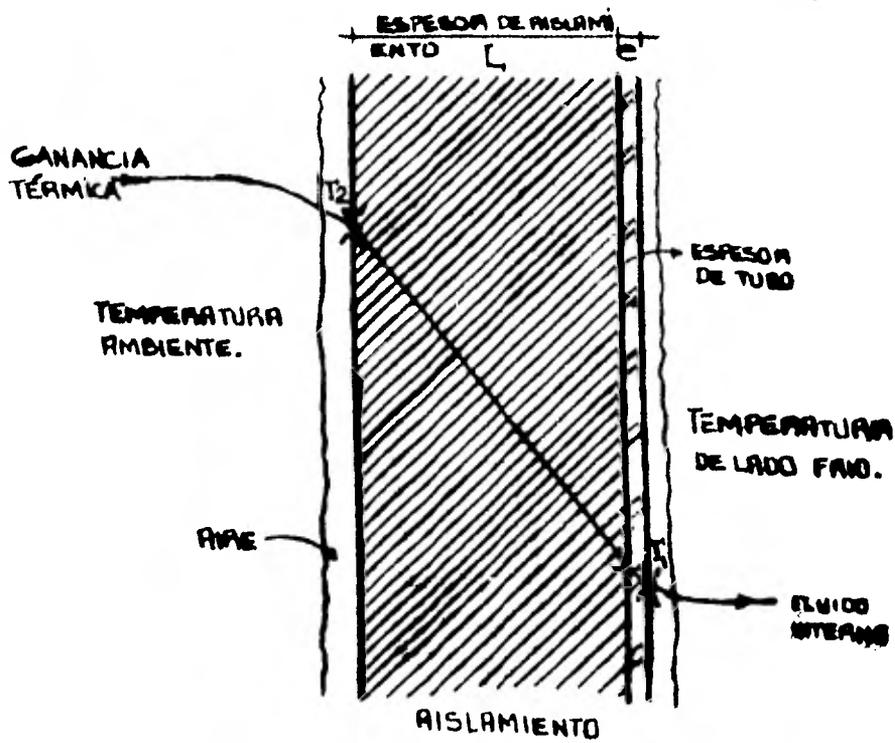
En el cálculo de la cuantía económica de aislamiento para superficies frías, (T_2) se puede obtener con la precisión suficiente, partiendo de la fórmula empírica:

$$T_2 = T_m + 1/10 (T_1 - T_m) \quad (4)$$

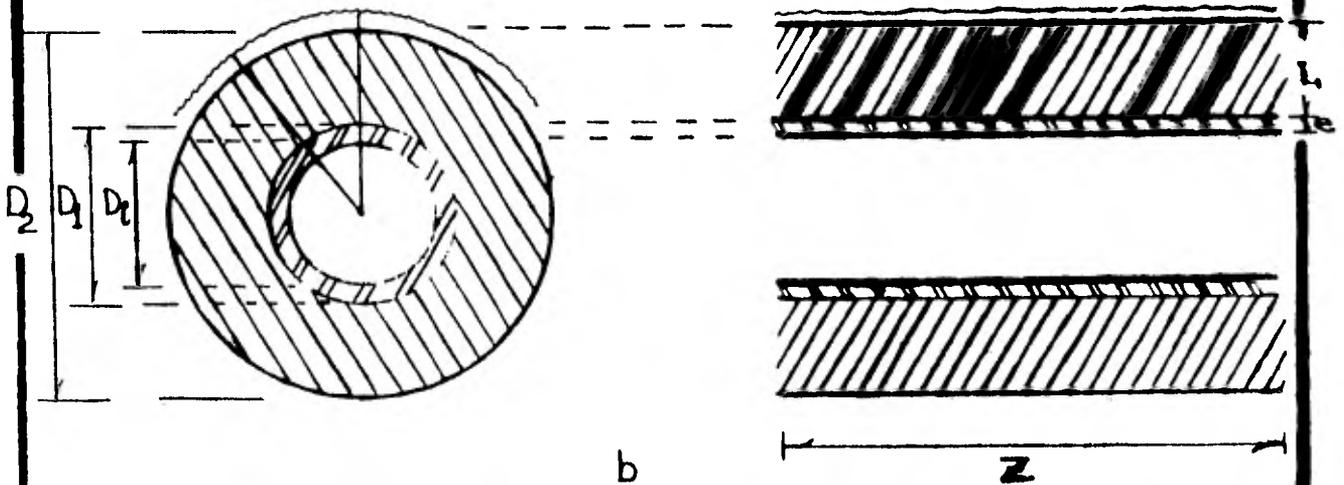
4.1.a.- Modelo del Sistema para superficies Planas.

Figura 4.1.b.- Modelo del Sistema para superficies Curvas.

TESIS PROFESIONAL
F.E.S.C.
José Rivera Posadas
Marzo 1982



a). CONDUCCIÓN ESTACIONARIA EN SUPERFICIES PLANAS



4.1.b. SUPERFICIES CURVAS.

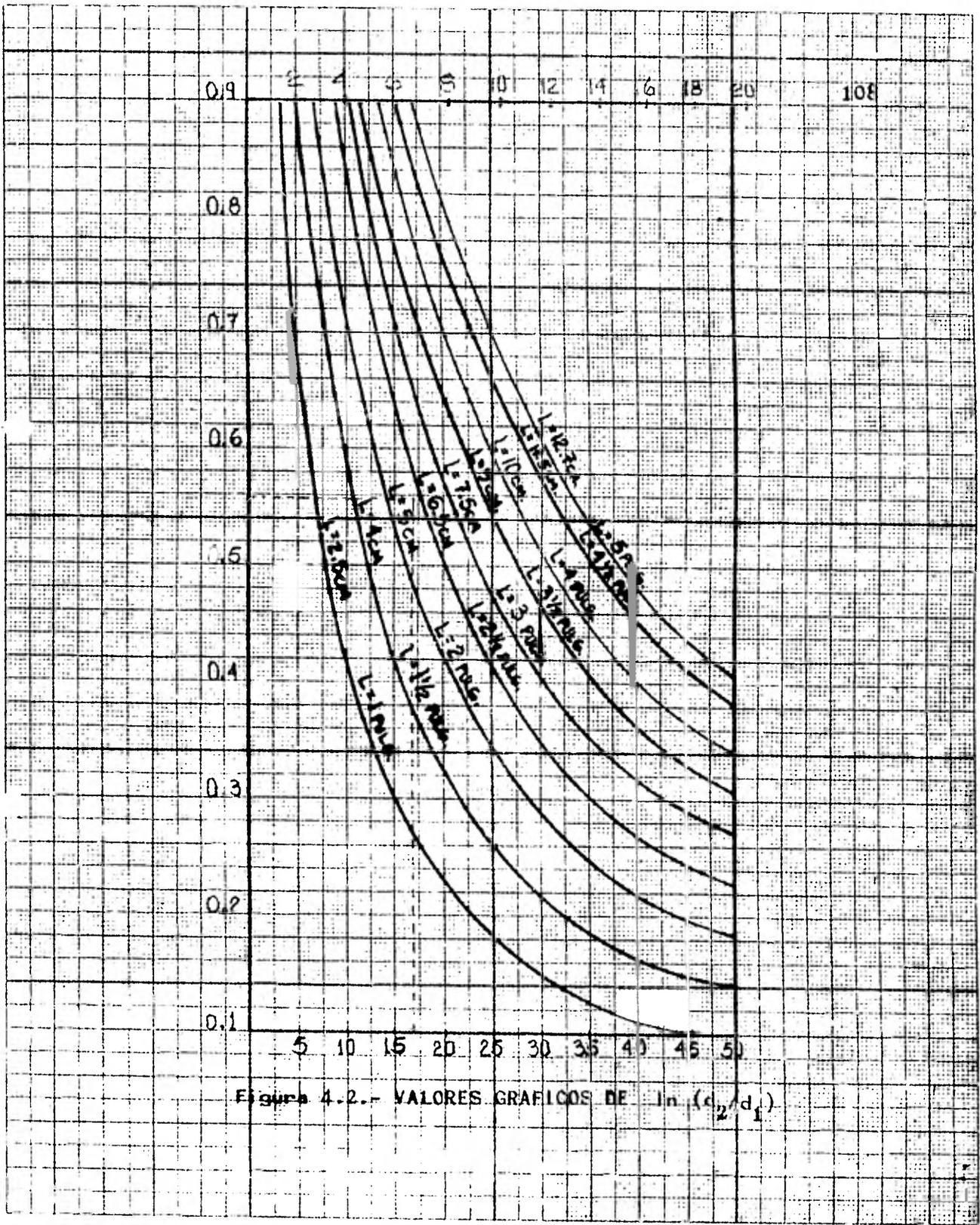


Figura 4.2.- VALORES GRAFICOS DE $\ln(c_2/d_1)$

Para las superficies frías, el valor de (T_2) , puede tomarse 3 °C por debajo de la temperatura ambiente.

4.2.2.- FLUJO TERMICO POR RADIACION.

Este flujo puede calcularse mediante la ecuación de Stefan-Boltzmann:

$$Q_r = 56.29 \times 10^{-9} E \left[(T_m + 273)^4 - (T_2 + 273)^4 \right] \times A$$

Que para tuberías se puede expresar en la forma:

$$Q_r = f_r E (T_m - T_2) d_2 \quad (5)$$

El valor de (f_r) , "coeficiente de radiación" ó factor de temperatura, viene dado por:

$$f_r = \frac{4.84 \times 10^{-8}}{(T_m - T_2)} \left[(T_m + 273)^4 - (T_2 + 273)^4 \right]$$

Sin embargo los valores de (f_r) y (E) , pueden obtenerse de la figura 4.3, y de la tabla 1, respectivamente.

4.2.3.- FLUJO TERMICO POR CONVECCION.

Como ya se mencionó en el primer capítulo, esta puede ser Natural o Forzada. Para interiores de tuberías y reci-

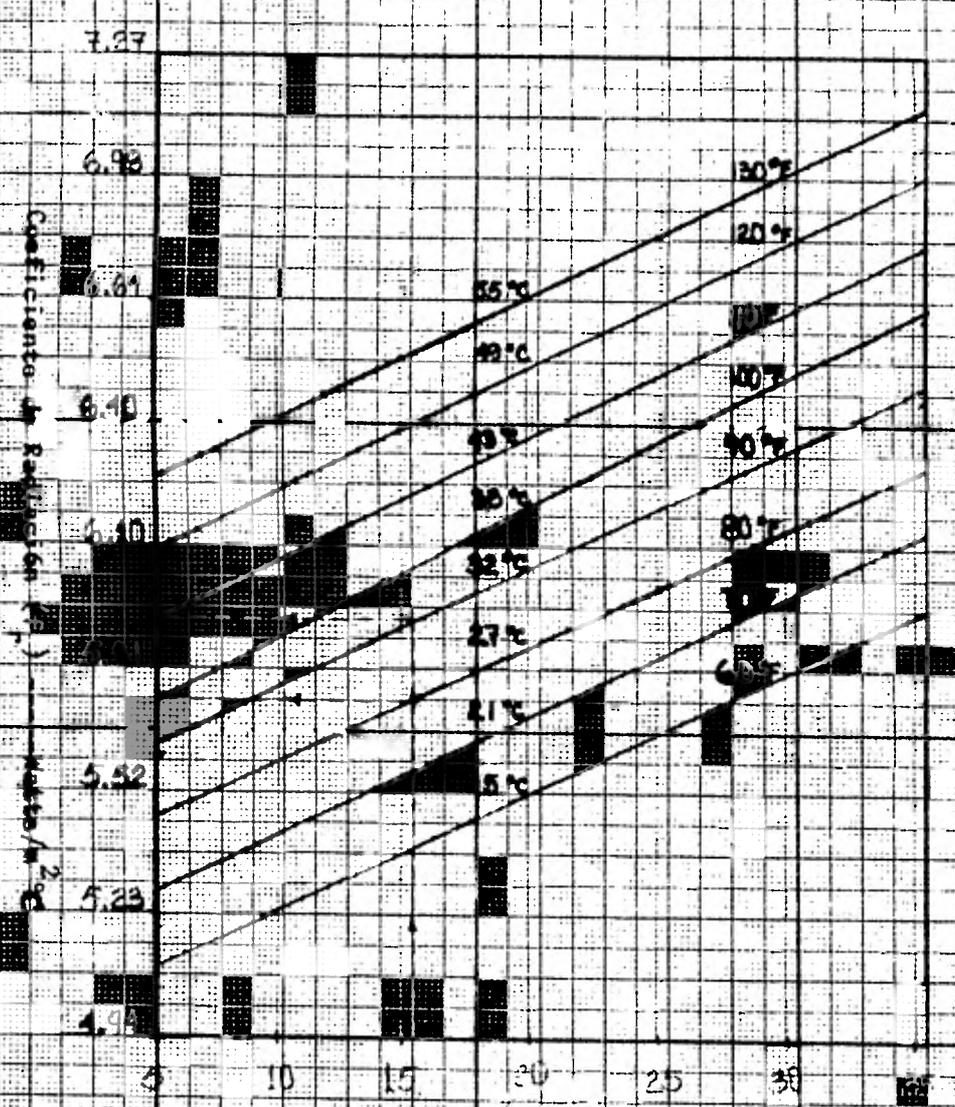


Figura 4.3.- COEFICIENTE DE RADIACION O FACTOR DE TEMPERATURA (f_r)

TABLA 1.- VALORES DE LA EMISIVIDAD Y ABSORTIVIDAD DE-VARIAS SUPERFICIES.

SUPERFICIE	EMISIVIDAD de 10 hasta 38 °C	ABSORTIVIDAD para la radiaci- ón solar.
Pintura de Aluminio	0.40-0.60	0.30-0.50
Asbestocemento	0.85-0.95	0.65-0.80
Negro, no metálico	0.90-0.90	0.85-0.98
Acero Galvanizado	0.20-0.30	0.40-0.65
Aluminio Oxidado	0.20-0.30	0.40-0.65
Aluminio Pulido	0.02-0.04	0.10-0.40
Pintura Blanca	0.89-0.97	0.12-0.18
El Resto de Pinturas	0.74-0.96	0.50-0.74

pientes, debe suponerse la Convección Natural, y para condiciones exteriores, la Convección Forzada.

Tratando primero con la convección natural, se tiene:

a) Convección Natural: Para superficies planas y verticales al flujo térmico, la ecuación para superficies cilíndricas y planas viene expresada por:

$$Q_{cn} = 1.52 (T_m - T_2)^{1.25} \quad (6)$$

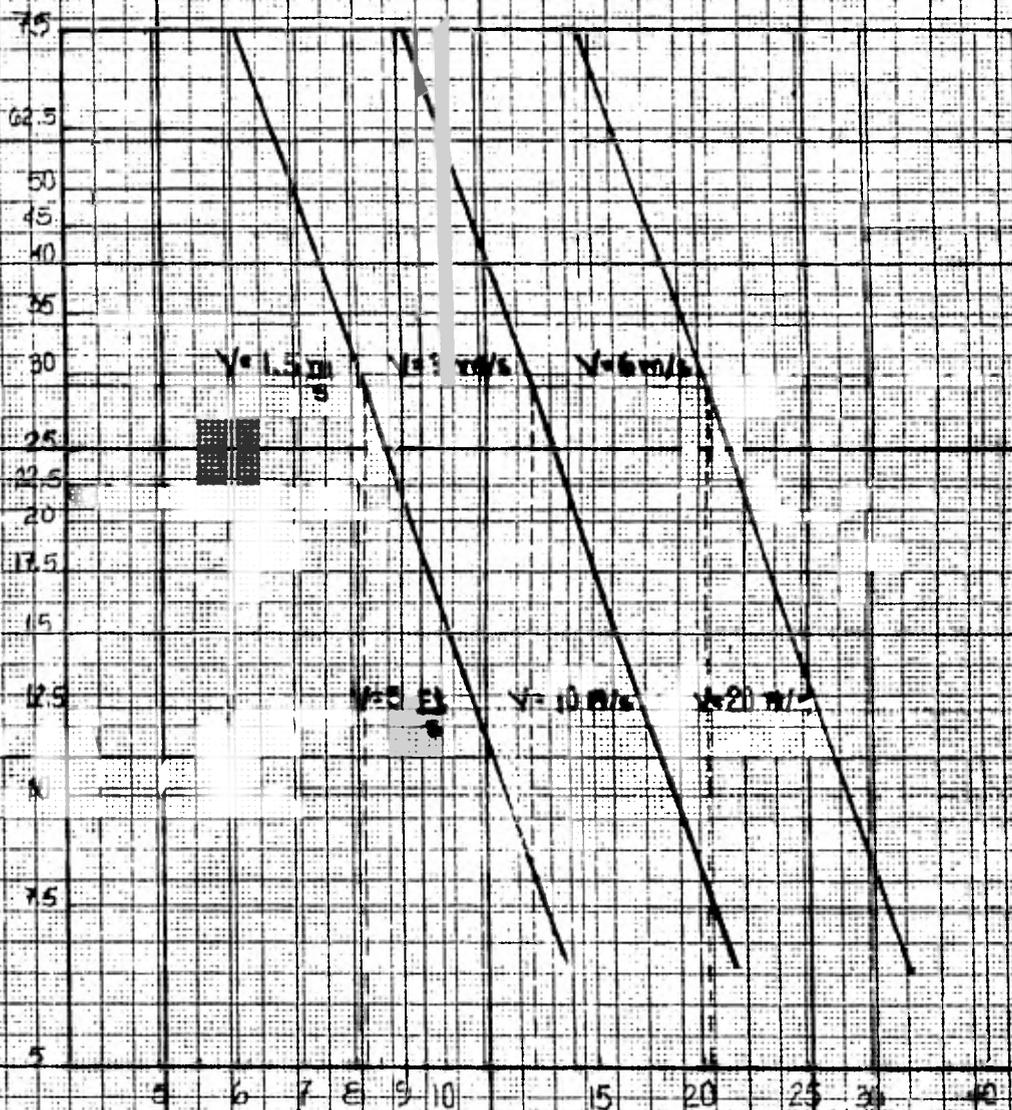


Figura 4.4.- COEFICIENTE DE CONVECCION EN RELACION CON LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LA CONVECCION FORZADA SOBRE LAS SUPERFICIES CILINDRICAS.

Para superficies planas horizontales, el flujo térmico puede tomarse tal como se indica en la tabla II.

TABLA II.- TRANSMISION TERMICA PARA LAS SUPERFICIES - PLANAS HORIZONTALES.

SITUACION	FLUJO TERMICO
Superficie Fria orientada hacia abajo	$Q_{cn} = 2.15(T_m - T_2)^{1.25}$ (7)
Superficie Fria orientada hacia arriba	$Q_{cn} = 1.13(T_m - T_2)^{1.25}$ (8)

El flujo para una superficie cilindrica horizontal viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{cn} = 3.52 d_2^{0.75} (T_m - T_2)^{1.25} \quad (9)$$

b) Convección Forzada: Tanto para superficies verticales - como horizontales. Para las superficies planas y cilíndricas, la transmisión térmica en las condiciones de la convección forzada, es como seguidamente se indica:

1.- Superficie Cilíndrica: (Con el viento en ángulo recto-respecto al eje del cilindro o tramo de tubo).

$$Q_{cf} = 24.3 d_2^{0.6} (T_m - T_2) \quad (10)$$

Que también puede calcularse según la ecuación:

$$Q_{cf} = \pi d_2 f_c (T_m - T_2) \quad (11)$$

Los valores de f_c pueden obtenerse de la figura 4.4.

2.- Superficie Plana: (Con el viento paralelo a la superficie):

$$Q_{cf} = 11.5/w^{0.2} (T_m - T_2) \quad (12)$$

Las fórmulas anteriores, proporcionarán unos valores con una exactitud de $\pm 10 \%$.

3.- Superficie Cilíndrica: (Con viento en la dirección del tramo de la tubería). Para el cálculo puede utilizarse la ecuación (12).

4.3.- EJEMPLO: CALCULO DEL FLUJO TERMICO PARA LAS SUPERFICIES FRIAS.

El aislamiento térmico a temperaturas elevadas, se proyecta generalmente para confinar el calor. La transmisión de tal calor como fugas, através del aislamiento, se conoce como pérdida térmica. Sin embargo en aplicaciones a bajas temperaturas, el objetivo es, mantener el calor apartado del sistema, en tales casos el calor que pasa hacia e

el interior a través del aislamiento se denomina "ganancia térmica".

Para efectos de cálculo, debe tenerse presente que la temperatura de la superficie exterior del aislamiento, es-- mas baja que la del medio ambiente.

4.3.1.- CALCULO DE LA TEMPERATURA EXTERNA DEL AISLA - MIENTO (T_2); Y DEL CALOR GANADO:

Considerese una tubería con los siguientes datos:

$$d_i = 15.25 \text{ cm.}$$

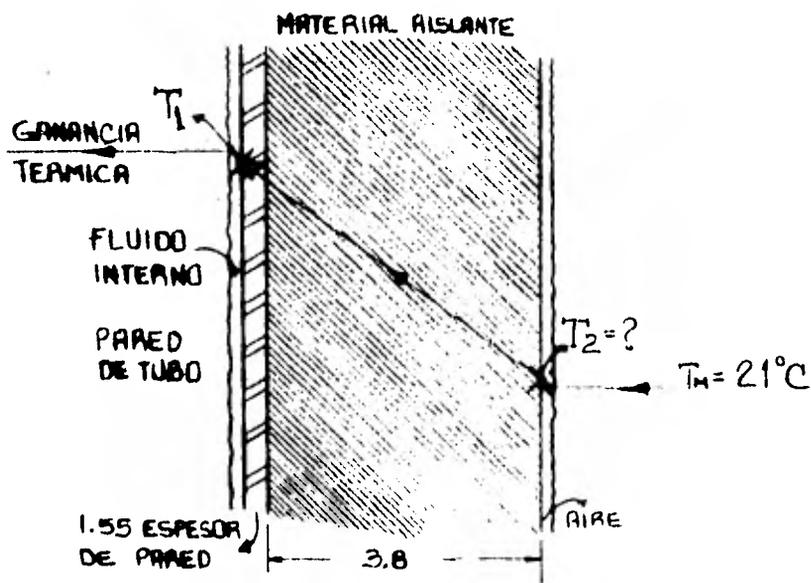
$$d_1 = 16.80 \text{ cm.}$$

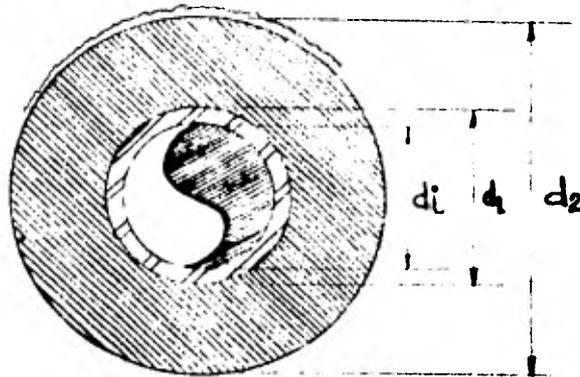
$$T_1 = -7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 3.8 \text{ cm.}$$

$$d_2 = 24.4 \text{ cm.}$$

PERFIL DEL SISTEMA





- a) Supongamos una temperatura ambiental, $T_m = 21 \text{ }^\circ\text{C}$
 b) Una Conductividad Térmica del Aislamiento, $k = 0.0361$
 c) Una Emisividad final de $E = 0.9$

Según la ecuación (3):

$$Q = \frac{2\pi \times 0.0361 (T_2 + 7)}{\ln(24.4/16.8)} = \frac{0.2268 (T_2 + 7)}{0.3732} =$$

$$Q = 0.6077 (T_2 + 7) \text{ ----- Watts/m}_{\text{lineal}}$$

La temperatura incógnita (T_2) puede calcularse utilizando la ecuación básica (1):

$$Q = Q_r + Q_c \quad (1)$$

La ganancia térmica por radiación por cada metro de tubería se obtiene de la ecuación (5):

$$Q_r = f_r E (T_m - T_2) \pi d_2$$

De la figura 4.3, tenemos:

$f_r = 5.6754$, cuando $T_2 = 19$ °C, y cuando $T_m = 21$ °C

Por lo tanto:

$$Q_r = 5.6754 \cdot 0.9(21 - T_2) \pi (0.244) = 3.9154(21 - T_2)$$

$$Q_r = 3.9154 (21 - T_2) \text{ ----- Watts/m. lineal}$$

Puesto que la tubería está en interiores, puede suponerse que se produce convección natural. La ganancia térmica por convección se calcula de la ecuación (9):

$$Q_{cn} = 3.52 d_2^{0.75} (T_m - T_2)^{1.25}$$

Sustituyendo:

$$Q_{cn} = 3.52 (0.244)^{0.75} (21 - T_2)^{1.25} = 1.222 (21 - T_2)^{1.25}$$

Como:

$$Q = Q_r + Q_c \quad \text{Sustituyendo valores:}$$

$$0.6077 (T_2 + 7) = 3.9154 (21 - T_2) + 1.222 (21 - T_2)^{1.25}$$

Arreglando la ecuación:

$$0.6077 T_2 + 4.2539 = 82.2234 - 3.9154 T_2 + 1.222 (21 - T_2)^{1.25}$$

$$\text{Entonces: } 4.5231 T_2 - 1.222 (21 - T_2)^{5/4} = 77.9695 \quad \text{---(i)}$$

Por el método de tanteo, suponemos varios valores de T_2 ; para determinar el que cumpla con la igualdad (i).

Tomamos como punto de referencia: $T_2 = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$ 4 ó 5 - valores son suficientes. Entonces: 19.1; 19; 18.6; 18.2; - 18.3 .

De lo anterior, se deduce que $18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, cumple con (i), -- aproximadamente.

Entonces:

$$T_2 = 18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

La ganancia térmica en el aislamiento por cada 30.4 - cm. de tubería cuando $T_2 = 18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, viene dada por:

$$Q = 0.6077 (18.2 + 7) = 15.314 \text{ -----Watts/m. lineal}$$

$$Q = 15.314 \text{ Watts/m.}$$

4.3.2.- OBSERVACIONES: Estos cálculos indican que el factor radiación (Q_r); queda influido por la emisividad, - que en el ejemplo anterior se tomó $E = 0.9$. Sin embargo, - donde se emplee una cobertura de aluminio con un valor de emisividad $E = 0.15$, entonces (Q_r), resultará más pequeño - y más pequeño, el valor correspondiente a T_2

Esto podría reducir la temperatura superficial exterior a un valor lo suficientemente bajo como para producir condensación, y en el aislamiento a temperatura baja, incluso pequeñas diferencias en la temperatura de la superficie exterior pueden resultar importantes.

4.4.- CALCULO PARA DETERMINAR EL ESPESOR ECONOMICO.

El espesor del aislamiento aplicado a las superficies frías, puede determinarse ya sea mediante la máxima ganancia térmica permisible o bien mediante el método del espesor económico. En la mayoría de los casos el espesor aplicado, es el suficiente como para elevar la temperatura superficial externa del aislamiento por encima del punto de rocío para evitar la condensación excesiva.

El espesor requerido para conseguir esto es generalmente mayor del determinado por los otros métodos. Para las tuberías de agua fría, a menudo se requiere una protección para evitar la congelación del agua dentro del tubo.

El flujo térmico a través del aislamiento es igual al del calor absorbido del ambiente por la parte exterior del aislamiento, es decir, el calor ganado por convección, mas el calor ganado por radiación.

En algunos casos por ejemplo, a la luz directa solar la temperatura del aislamiento puede ser mayor que la temperatura ambiental. En tales circunstancias el calor se perderá por convección.

El verdadero calor absorbido del aire circundante --- por una superficie aislada, dependerá del espesor de aislamiento que se haya aplicado. Solo se precisa un espesor pequeño para disminuir considerablemente el incremento de calor, pero a medida que se incrementa el espesor, la cantidad adicional de calor absorbido por cada capa subsiguiente decrece rápidamente, mientras que el costo de cada capa aplicada refleja una variación mucho menor.

Es evidente pues que para cualquier aislamiento existe un espesor óptimo por encima del cual, la magnitud del calor adicional absorbido por la aplicación de una capa --

posterior de aislamiento, no justificará el costo de esa - capa. Este Espesor Optimo se conoce normalmente como Espesor Económico.

Los Costos a considerar son:

- a) El costo del calor ganado por el sistema durante su período de utilización.
- b) El costo del sistema de aislamiento, durante el mismo período (incluyendo la aplicación y el acabado).

Es conveniente aclarar que el "Espesor Económico" obtenido, solo concierne al sistema de aislamiento que se es té considerando, los costos asociados con el espesor económico para otros sistemas, pueden ser muy diferentes, y los costos verdaderos al nivel del espesor económico para sistemas distintos, deben derivar y ser comparativos respecto al sistema ya calculado.

4.4.1.- DISEÑO.

Para la selección del tipo de aislamiento y cálculo - del espesor del mismo, debe tomarse como base, la temperatura mínima de operación.

EJEMPLO: Seleccionar el espesor de aislamiento adecuado si se utiliza Fibra de Vidrio (en medias cañas), que - se requiere para una tubería de Acero Inoxidable 10S. Con las siguientes características:

Diámetro Nominal: 10.2 cm. (4")

$d_1 = 11.43$ cm, $r_1 = 5.72$ cm.

$d_2 = ?$

$T_1 = -12.2$ °C

$T_m = 26.7$ °C

Humedad Relativa = 70%

Conductancia Térmica exterior $h_2 = 11.35 \text{ Watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Conductividad Térmica $k = 0.036 \text{ Watts/m } ^\circ\text{C}$

$Z = 1\text{m}$. para facilitar el cálculo.

a) El primer paso es suponer varios valores de espesor de aislamiento (de preferencia espesores comerciales). Cuatro o cinco valores son suficientes:

1: 12.7 mm. ($\frac{1}{2}$ ")

2: 25.4 mm. (1")

3: 38.1 mm. ($1\frac{1}{2}$ ")

4: 50.8 mm. (2")

5: 63.5 mm. ($2\frac{1}{2}$ ")

6: 76.2 mm. (3")

b) En base a las características climatológicas del medio ambiente, se supone o se obtiene de dato una temperatura de superficie exterior del aislamiento. $T_2 = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$. Entonces se calculan las resistencias:

$$R_1 = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Zk} \qquad R_2 = 1 / A_2 h_2 \qquad (13)$$

Sustituyendo para los diferentes valores de espesor supuesto:

$$R_{(12.7)} = \frac{\ln(6.99/5.72)}{2\pi(1)(360 \times 10^{-6})} = 0.88650 \text{ } ^\circ\text{C/Watt.}$$

$$R_{(25.4)} = \frac{\ln(8.26/5.72)}{2\pi(1)(360 \times 10^{-6})} = 1.625 \text{ "}$$

$$R_{(38.1)} = \frac{\ln(9.53/5.72)}{2\pi(1)(360 \times 10^{-6})} = 2.257 \text{ --- } ^\circ\text{C/WATT.}$$

$$R_{(50.8)} = \frac{\ln(10.8/5.72)}{2\pi(1)(360 \times 10^{-6})} = 2.81 \quad "$$

$$R_{(63.5)} = \frac{\ln(12.7/5.72)}{2\pi(1)(360 \times 10^{-6})} = 3.301 \quad "$$

$$R_{(76.2)} = \frac{\ln(13.34/5.72)}{2\pi(1)(360 \times 10^{-6})} = 3.744 \quad "$$

$$\text{Si } A = \pi d_2 Z$$

$$R_2(12.7) = \frac{1}{(\pi \times 6.99/100)(11.35)} = 0.4012 \text{ --- } ^\circ\text{C/WATT}$$

$$R_2(25.4) = \frac{1}{(\pi \times 8.26/100)(11.35)} = 0.3395 \quad "$$

$$R_2(38.1) = \frac{1}{(\pi \times 9.53/100)(11.35)} = 0.2943 \quad "$$

$$R_2(50.8) = \frac{1}{(\pi \times 10.8/100)(11.35)} = 0.2597 \quad "$$

$$R_2(63.5) = \frac{1}{(\pi \times 12.07/100)(11.35)} = 0.2324$$

$$R_2(76.2) = \frac{1}{(\pi \times 13.34/100)(11.35)} = 0.2102 \dots \text{ } ^\circ\text{C/WAT}$$

Como R_1 y R_2 , se oponen a la ganancia térmica:

$$\Sigma R = R_1 + R_2 \quad \text{Será la resistencia total.}$$

$$\Sigma R(12.7) = 0.8865 + 0.4012 = 1.2877$$

$$\Sigma R(25.4) = 1.625 + 0.3395 = 1.9645$$

$$\Sigma R(38.1) = 2.257 + 0.2943 = 2.5513$$

$$\Sigma R(50.8) = 2.81 + 0.2597 = 3.06970$$

$$\Sigma R(63.5) = 3.301 + 0.2324 = 3.5334$$

$$\Sigma R(76.2) = 3.744 + 0.2102 = 3.9542$$

La Ganancia de Calor para cada espesor supuesto:

$$Q_L = -\Delta T / \Sigma R$$

$$Q_{L1} = \frac{-12.2 - 26.7}{1.2877} = -30.208$$

$$Q_{L2} = \frac{-38.9}{1.9645} = -19.801$$

$$Q_{L3} = \frac{-38.9}{2.5513} = -15.247$$

$$Q_{L4} = \frac{-38.9}{3.0697} = -12.672$$

$$Q_{L5} = \frac{-38.9}{3.5334} = -11.009$$

$$Q_{L6} = \frac{-38.9}{3.9542} = -9.837$$

Con estos datos podemos calcular la temperatura de su superficie, para cada espesor de aislamiento supuesto. Tomando también en cuenta el valor supuesto de $T_2 = 24$ °C.

La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$T_2 = T_1 - Q (R_1) \quad (14)$$

$$T_2(12.7) = -12.2 + 30.208 (0.8865) = 14.5794$$

$$T_2(25.4) = -12.2 + 19.801 (1.625) = 19.9766$$

$$T_2(38.1) = -12.2 + 15.247 (2.257) = 22.2125$$

$$T_2(50.8) = -12.2 + 12.672 (2.81) = 23.4083$$

$$T_2(63.5) = -12.2 + 11.009 (3.301) = 24.1407$$

$$T_2(76.2) = -12.2 + 9.837 (3.744) = 24.6297$$

Como se había supuesto una temperatura de superficie exterior de aislamiento de: $T_2 = 24$ °C. Y de acuerdo al cálculo anterior, para obtener esta temperatura, se requerirá un espesor de 63.5 mm. aproximadamente. ($2\frac{1}{2}$ ").

4.5.- DETERMINACION DEL ESPESOR ECONOMICO.

Hasta el momento, se han establecido los modelos y descrito el proceso de cálculo para la determinación de la ganancia de calor a través del aislamiento, y la determinación de la temperatura superficial del mismo (T_2); para ciertos espesores considerados.

La determinación del Espesor Económico, se efectúa básicamente por técnicas de balance económico.

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

Para la optimización de sistemas de aislamiento térmico, se tiene como variable común, el espesor del aislante, los gastos ascendentes, son los gastos fijos que se incrementan al aumentar el espesor, y los gastos descendentes, son los gastos de operación (enfriamiento), ya que al determinar el espesor del aislamiento; disminuirá la ganancia térmica del ambiente hacia el sistema. En una gráfica económica como la que se aprecia en la figura 1.7, del capítulo primero, se pueden observar varias cosas; la curva de gastos de operación muestra que los primeros centímetros de espesor, van a retener la mayor parte del calor, es decir, el espesor de aislamiento puede seguir aumentando, sin que esto evite la transmisión 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 gasto total mínimo, en el cual se puede ahorrar la mayor energía con el mínimo de inversión, o en otras palabras, el sistema de aislamiento; es una INVERSION RENTABLE, el ahorro de energía va a constituirse en:

$$\text{Pesos/año-m}^2 \text{ de superficie aislada.}$$

La manera de determinar los gastos fijos y de operación es como sigue:

a) GASTOS FIJOS: Para expresarlos, en función de la inversión de adquisición (Ia); se tiene la siguiente ecuación:

$$Gf = Ia (1 + F) B \quad (15)$$

Donde:

F: Es un factor que involucra todos los gastos como un porcentaje del costo del aislamiento.

$$(1 + F) = It$$

Donde It: Inversión total del sistema instalado.

$$It = C.U. + Flete + M. de O. + M.de Acab. + Imprev. + G. Indirect.$$

Analizando cada concepto se tiene:

C.U.: Costo Unitario del material aislante que se denominará "Inversión de Adquisición", al referirlo al proyecto y que en función de este se determinarán los demás conceptos como porcentaje.

FLETE: El flete es muy variable, depende de la distancia - entre origen y destino del material y del medio de transporte. Para efectos de cálculo y considerando materiales mexicanos, se estima como valor: 10% de la inversión de adquisición (Ia).

M. de O. : Se refiere a la Mano de Obra directa para insta

lar el sistema de aislamiento térmico, y es resultado de un estudio de superficie aislada por turno y por operador, su valor será variable en función del tipo de aislamiento, si es placa, preformado, o colchoneta, y de los salarios de la zona del país en que se efectúe la instalación— un valor estimativo para este concepto puede ser de un 20% de la (la).

M. de Acab.: Se refiere a los Materiales de Acabado necesarios en el sistema, e implican el mayor porcentaje de gastos, éste porcentaje es variable dependiendo de la superficie por aislar y del tipo de acabado que se desee aplicar.

A continuación se muestra un ejemplo de como se determinó en función de costos este concepto, para un diámetro-pequeño; y para uno grande de tubo.

1.- Supongase una tubería de 12.7 mm. de diámetro ($\frac{1}{2}$ "). Con un aislante de 25.4 mm. de espesor (1"). Costo de media caña por tramo de 90 cm. : \$ 36.00 pesos aproximadamente.

Los materiales requeridos son los siguientes:

1 m. de alambre de sujeción	\$ 0.50
Cemento para Junteo	0.20
Lámina de Acabado	17.00
Pijas de Sujeción	<u>1.00</u>
	18.70

Entonces:

$$\frac{18.70}{36} (100) = 51.9\% \text{ de la.}$$

36

2.- Supongamos una tubería de 304.8 mm. de diámetro (12"). Con un aislante de 50.8 mm. de espesor (2"). Se tendría:

Costo de una placa de 90 cm. de lado \$ 350.00 pesos

4 m. Alambre de Sujeción	\$ 3.00
Cemento de Unión	2.00
Lámina de Acabado	80.00
Pija de Sujeción	<u>1.00</u>
	86.00

Entonces:

$$\frac{86.00}{350.00} (100) = 25\% \text{ de la.}$$

Para un cálculo riguroso, es necesario calcular esto -- para cada caso, sin embargo este concepto puede ser cubierto, con un valor promedio del 40% de la Inversión de Adquisición (Ia).

IMPREVISTOS: Es un concepto que siempre se debe considerar como un 5% de la Inversión de Adquisición. Pretende cubrir los posibles daños que sufra el material en su manejo y almacenaje, considerando que se cumplen las recomendaciones correspondientes.

G. INDIRECT.: Estos gastos solo se consideran en grandes -- proyectos, y son los gastos de Mano de Obra Indirecta, es decir; supervisión externa, viáticos, transporte de personal, y en tal caso es un valor muy específico que no se puede promediar.

Finalmente se establece que los Gastos Fijos, para poderse expresar anualmente; se tienen que afectar por la -- amortización anual que se prevea en el sistema. Quedando:

$$G_f = I_t B = I_a (1 + F) B = 1.75 I_a B \text{ (promedio) (16)}$$

Donde:

$$B = R + M \quad (17)$$

$$R = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (18)$$

M: Se considera de un 3 a un 5% de la inversión total del sistema instalado.

r: Es el interés anual, capitalizable semestral o anualmente.

n: Período considerado para amortizar la inversión.

Gastos de Operación: Se pueden determinar con la siguiente expresión:

$$G_{op} = Q_L * N \quad (19)$$

4.5.1.- EJEMPLO.

Se requiere aislar térmicamente una tubería de proceso para transporte de "LNG" (Gas Natural Licuado), con las siguientes características:

$$d_i = 15.25 \text{ cm. (6")}$$

$$d_1 = 16.85 \text{ cm. (65/8")}; r_1 = 8.425$$

Temperatura en el lado frío de la tubería $T_1 = -7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Horas de funcionamiento anuales de la tubería: 8 000

Periodo de Amortización de la Instalación Total: 10 años.

Se desea utilizar como material aislante Corcho.

$k = 0.036 \text{ Watt/m } ^\circ\text{C}$. El aislamiento viene protegido con su respectiva barrera de vapor.

Para facilitar el cálculo se considera una longitud $Z=1$.

1.- CALCULO DEL ESPESOR.

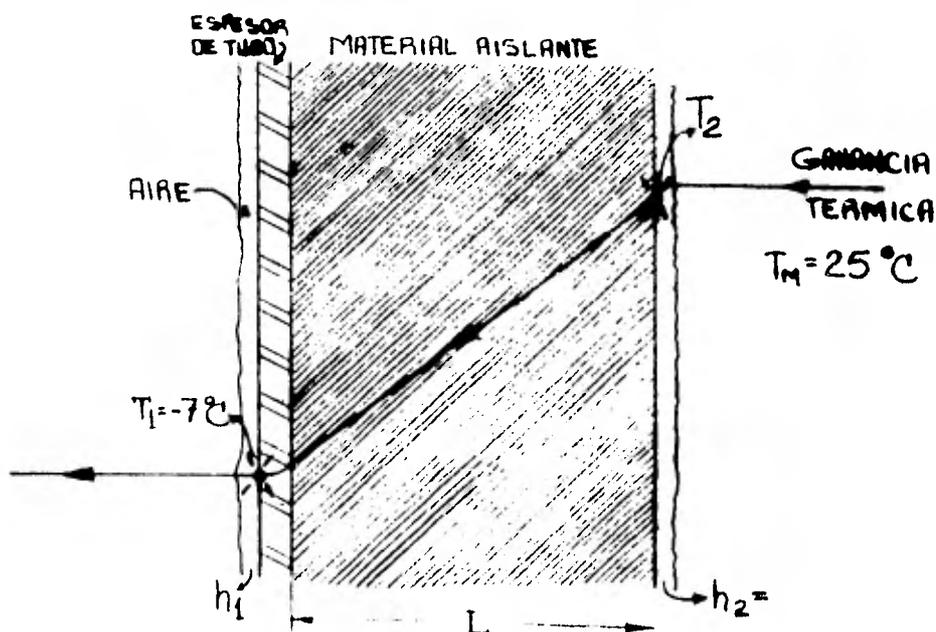
1.a.- La tubería se encuentra localizada en Poza Rica Ver. En ese sitio podemos suponer una temperatura media anual - de $T_m = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

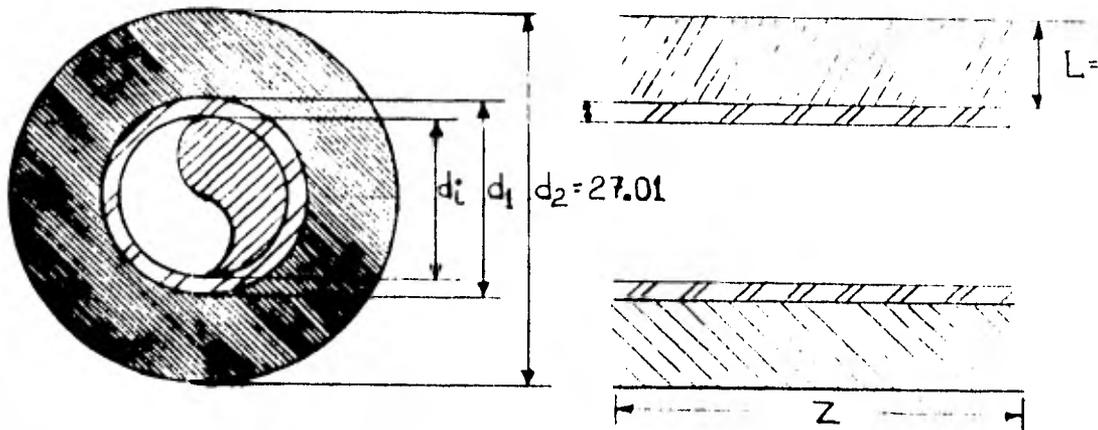
1.b.- Para efectos de cálculo, suponemos una temperatura - en la superficie exterior del aislamiento de $T_2 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.c.- Como ya se vió en la sección de diseño. Se suponen - varios valores de de aislamiento. 5 son suficientes.

- a) 12.7 mm.
- b) 25.4 mm.
- c) 38.1 mm.
- d) 50.8 mm.
- e) 63.5 mm.

PERFIL DEL SISTEMA.





2.- Se calculan las resistencias térmicas. Sustituyendo para los diferentes valores de espesor supuesto.

$$R_{1(12.7)} = \frac{\ln(9.695/8.425)}{2\pi(1)(0.036)} = 620.7 \times 10^{-3} \quad ^\circ\text{C}/\text{Wmm}$$

$$R_{1(25.4)} = \frac{\ln(10.965/8.425)}{2\pi(1)(0.036)} = 1.165 \quad "$$

$$R_{1(38.1)} = \frac{\ln(12.235/8.425)}{2\pi(1)(0.036)} = 1.649 \quad "$$

$$R_{1(50.8)} = \frac{\ln(13.505/8.425)}{2\pi(1)(0.036)} = 2.086 \quad "$$

$$R_{1(63.5)} = \frac{\ln(14.775/8.425)}{2\pi(1)(0.036)} = 2.483 \quad "$$

Para calcular (h_2), se considera para éste caso la tbería en interiores, por lo que puede suponerse una Convección Natural. De tablas se obtiene $h_2 = 11.4 \text{ Watts/m}^2\text{°C}$.

Entonces:

$$R_2(12.7) = \frac{1}{(\pi \times 9.695/100)(11.4)} = 288 \times 10^{-3} \text{ --- °C/Watts}$$

$$R_2(25.4) = \frac{1}{(\pi \times 10.965/100)(11.4)} = 261.1 \times 10^{-3} \text{ ""}$$

$$R_2(38.1) = \frac{1}{(\pi \times 12.235/100)(11.4)} = 228.2 \times 10^{-3} \text{ ""}$$

$$R_2(50.8) = \frac{1}{(\pi \times 13.505/100)(11.4)} = 206.8 \times 10^{-3}$$

$$R_2(63.5) = \frac{1}{(\pi \times 14.775/100)(11.4)} = 189 \times 10^{-3}$$

Como R_1 y R_2 se oponen al flujo de Calor:

$$\Sigma R = R_1 + R_2 \quad \text{que será la resist. Total.}$$

$$\Sigma R(12.7) = 620.7 \times 10^{-3} + 288 \times 10^{-3} = 908.7 \times 10^{-3}$$

$$\Sigma R_{(25.4)} = 1.165 + 261.1 \times 10^{-3} = 1.393$$

$$\Sigma R_{(38.1)} = 1.649 + 228.2 \times 10^{-3} = 1.877$$

$$\Sigma R_{(50.8)} = 2.086 + 206.8 \times 10^{-3} = 2.293$$

$$\Sigma R_{(63.5)} = 2.483 + 189 \times 10^{-3} = 2.672$$

3.- La ganancia de calor para cada espesor supuesto::

$$Q_L = \Delta T / \Sigma R$$

$$Q_{L1} = \frac{-7 - 25}{908.7 \times 10^{-3}} = -35.2151 \text{ -----Watts}$$

$$Q_{L2} = \frac{-32}{1.393} = -22.972 \text{ ""}$$

$$Q_{L3} = \frac{-32}{1.877} = -17.0485 \text{ ""}$$

$$Q_{L4} = \frac{-32}{2.293} = -13.9555 \text{ ""}$$

$$Q_{L5} = \frac{-32}{2.672} = -11.976 \quad \text{-----Watts.}$$

4.- Con estos datos, podemos calcular la temperatura en la superficie exterior del aislamiento, para cada espesor del mismo supuesto.

$$T_2 = T_1 - Q_L (R_1)$$

$$T_{2(12.7)} = -7 - (-35.2151)(620.7 \times 10^{-3}) = 14.858 \quad \text{---}^\circ\text{C}$$

$$T_{2(25.4)} = -7 - (-17.0485)(1.165) = 21.113 \quad \text{"}$$

$$T_{2(38.1)} = -7 - (-17.0485)(1.649) = 21.113 \quad \text{"}$$

$$T_{2(50.8)} = -7 - (-13.9555)(2.086) = 22.1112 \quad \text{"}$$

$$T_{2(63.5)} = -7 - (-11.976)(2.483) = 22.730$$

De los cálculos anteriores se puede concluir lo siguiente;

Como se supuso una temperatura en la superficie exterior del aislamiento de 22 °C y de acuerdo al calculo anterior, para obtener esta temperatura, se requiere un espesor de aislamiento de 50.8 mm. (2").

Con la información anterior podemos construir una tabla como la siguiente:

ESPEJOR DE AISLAMIENTO	SUMA DE RESISTENCIAS	GANANCIA DE CALOR	TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL AISLAMIENTO T ₂
L	ΣR	Q _L	
1.27	908.7x10 ⁻³	-35.2151	14.858
2.54	1.393	-22.9720	18.9469
3.81	1.877	-17.0485	21.1130
5.08	2.293	-13.9555	22.1112
6.35	2.672	-11.9760	22.730

5.- Determinar el espesor económico si:

- El equipo opera 8 000 horas al año o sea: 333.3 días
- El período de amortización total de la instalación es de 10 años.
- Se tiene un interés de 10% capitalizable semestralmente

Como ya se mencionó, para calcular los Gastos Fijos se tiene:

$$Gf = Ia (1 + F) B$$

También se consideró que , en el caso general, el factor "F", se puede considerar con un valor de 75% del valor total de la inversión de adquisición (Ia). Por lo que:

$$(1 + F) = 1.75$$

También se sabe que:

$$B = (R + M)$$

Donde a "M", le daremos un valor aproximado de 3% de la Inversión de Adquisición (Ia).

$$R = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (20)$$

Donde:

i: 10% anual capitalizable semestralmente

n: Número de años para la amortización. 5 años o 10 semestres. Esto por lo siguiente:

Como el período de amortización total fué de diez años:

$$n = \frac{1}{(1/10)+0.1} = 5 \text{ años o } 10 \text{ semestres.}$$

Se establece que:

$$n = 5 \text{ años, o } 40\,000 \text{ horas de operación.}$$

Entonces:

$$r = 0.050$$

$$R = \frac{0.050}{1 - (+0.05)} = 0.1295$$

$$B = 2 (0.1295) + 0.04 = 0.299$$

Entonces para cada espesor considerado:

ESPESOR	G.F.	Sustituciones
1.27	$Gf_1 = 19.05 (1.75)(0.299) = 9.97$	$\$/\text{año-m}^2$
2.54	$Gf_2 = 38.10 (1.75)(0.299) = 19.94$	"
3.81	$Gf_3 = 57.15 (1.75)(0.299) = 29.90$	"
5.08	$Gf_4 = 76.20 (1.75)(0.299) = 39.90$	"
6.35	$Gf_5 = 95.25 (1.75)(0.299) = 49.84$	"

Cálculo de los Gastos de Operación:

$$G_{op} = Q_L * Y \quad (21)$$

* = 333.3 días

Y = El costo de la Refrigeración. Tomando datos de 1 81, - se tiene que al tipo de cambio de \$25.00 pesos por dólar, si costaba 4 dólares los MM-BTUs, resulta que el costo de - mantener la línea de proceso a baja temperatura; o sea el - costo de la refrigeración es aproximadamente: \$600 pesos/- MKwh. = Y.

Entonces:

ESPEJOR	G_{op}	Sustituciones.
1.27	$G_{op_1} = (35.2151)(8\ 000)(600/10^6) = 169$	\$/año-
2.54	$G_{op_2} = (22.972)(8\ 000)(600/10^6) = 110.2656$	
3.81	$G_{op_3} = (17.0485)(8\ 000)(600/10^6) = 81.8328$	
5.08	$G_{op_4} = (13.9555)(8\ 000)(600/10^6) = 66.9864$	
6.35	$G_{op_5} = (11.976)(8\ 000)(600/10^6) = 57.4848$	

Con los Gastos Fijos y los Gastos de Operación, se ob tienen los Gastos Totales.

$$G_{tot.} = G_f + G_{op.}$$

$$G_{\text{tot}_1} = 9.97 + 169 = 178.98$$

$$G_{\text{tot}_2} = 19.94 + 110.2656 = 130.20$$

$$G_{\text{tot}_3} = 29.90 + 81.8328 = 111.73$$

$$G_{\text{tot}_4} = 39.90 + 66.9864 = 106.88$$

$$G_{\text{tot}_5} = 49.84 + 57.4848 = 107.32$$

RESUMEN DE DATOS.

ESPESOR L	Q_L	T_2	G_f	G_{op}	$G_{\text{tot.}}$
1.27	35.2151	14.858	9.97	169.000	178.98
2.54	22.9720	18.9469	19.94	110.2656	130.20
3.81	17.0485	21.1130	29.90	81.8328	117.73
5.08	13.9555	22.1112	39.90	66.9864	106.88 **
6.35	11.9760	22.7300	49.84	57.4848	107.32

Con estos valores se puede graficar el espesor del aislamiento, contra los Gastos Fijos; los Gastos de Operación; y los Gastos Totales. Obteniéndose el mínimo de los Gastos Totales, el cual corresponde al ESPESOR ECONOMICO.

La figura 4.9, muestra lo anterior.

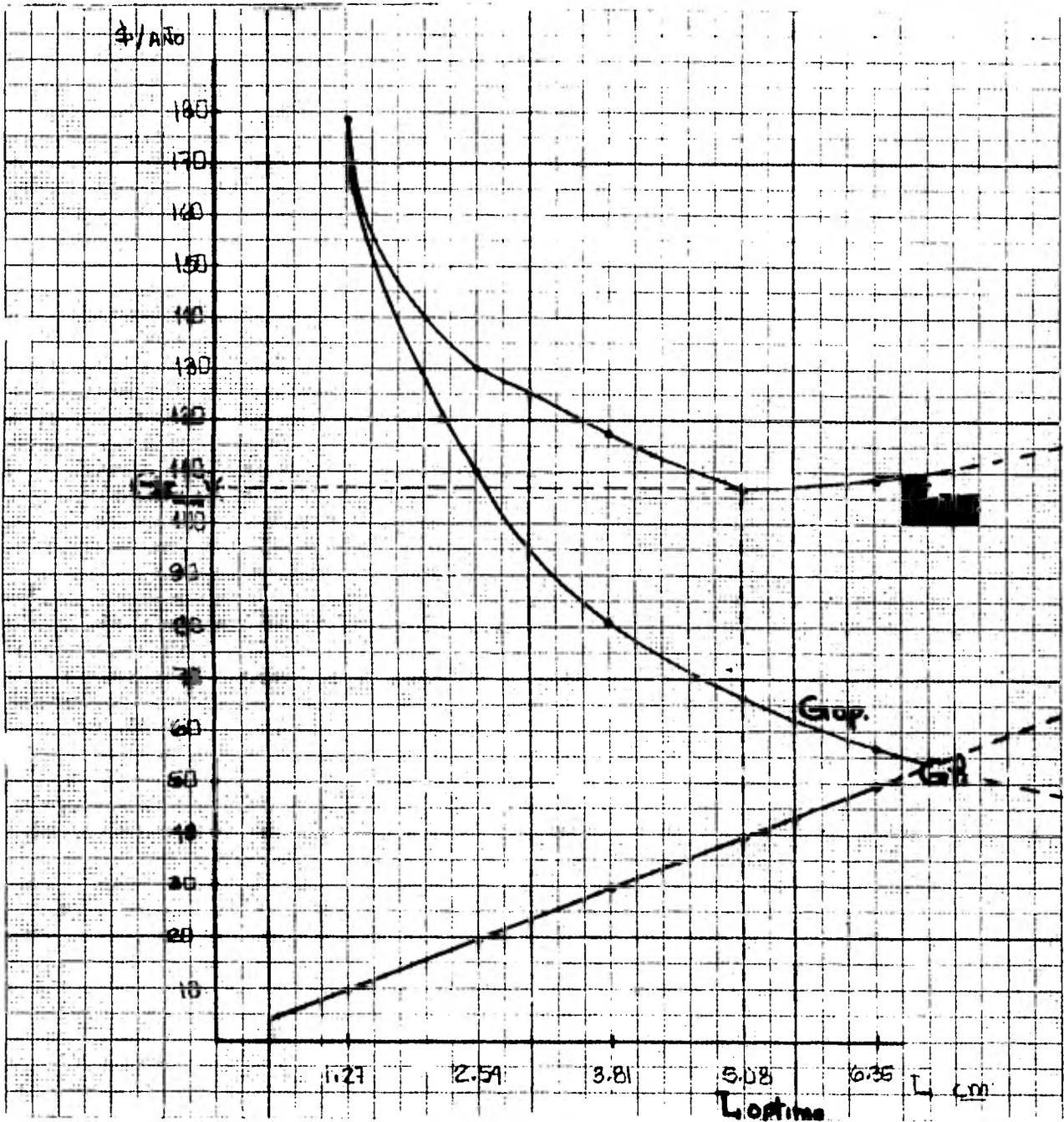


Figura 4.5.- Gráfica para determinar el Espesor Económico.

TESIS PROFESIONAL

F.E.S.C.

José Rivera Posadas

Marzo

1982

CAPITULO V .

"CONCLUSIONES".

El estudio de los sistemas de Aislamiento Térmico, se encuentra estrechamente relacionado a nivel industrial; - con dos áreas industriales específicas:

- a) Producción y Procesamiento de Productos.
- b) Optimización de Sistemas Operativos.

La vinculación que existe entre los sistemas de aislamiento y la producción y el procesamiento de productos, se refiere en este caso en particular, a los productos derivados de los hidrocarburos; es decir, de los productos que se procesan en Refinerías y en Plantas Petroquímicas.

En cuanto al inciso b; la optimización de los sistemas operativos es posible mediante el uso de los Materiales Aislantes, ya que éstos, permiten obtener Rentabilidad al proceso, ahorrando combustible, además de crear un ambiente agradable en el área de trabajo.

Es en base a estos dos polos de atención, por lo que los Sistemas de Aislamiento, deben cobrar especial atención.

En la actualidad, en el panorama de la industria petrolera nacional, existe la inquietud de crear la infraestructura necesaria, para el desarrollo completo de la industria petroquímica. Dentro de éste desarrollo se encuentra implícito, la erección de nuevas plantas de proceso.

Una planta de proceso implica la producción y el procesamiento de los hidrocarburos, que actualmente se extraen del subsuelo mexicano en grandes cantidades; ese gran volumen de crudos, se procesará para que en su momento; se obtengan de él cientos de productos derivados.

El proceso de obtención de dichos derivados no resulta tarea fácil. Así mismo, reconociendo que una planta de proceso es un complejo industrial, y que el conglomerado de equipos, recipientes máquinas, tuberías, y por supuesto operarios; participan en cierta forma para un fin específico, así mismo el Aislamiento Térmico; el cual tiene el fin fundamental de mantener las condiciones del proceso estables.

Condiciones que en todo momento pueden variar, alterando la calidad del producto final, si el Aislamiento Térmico no existiera.

A Bajas Temperaturas resulta más difícil conseguir este propósito, ya que los sistemas de Aislamiento Térmico - en éstas áreas de aplicación, deben controlar parámetros como:

- a) Temperatura
- b) Humedad Relativa
- c) Condensación del Producto.
- d) Congelación del Producto

- e) Viscosidad
- f) Velocidad del Viento
- g) Economía de Energía
- h) Rentabilidad

Si éstos parámetros no fueran contemplados al diseñar el Aislamiento, los incrementos en volumen de producción, y las continuas mejoras al proceso; no serían posibles en las plantas mismas.

Es importante subrayar que sin el empleo de los Aislamientos Térmicos, sería prácticamente imposible lograr que las plantas de proceso, se operen con alto grado de seguridad industrial.

Es decir, disminuyen al mínimo posible los accidentes personales por conceptos varios como son los operativos; - al existir equipos sin el respectivo aislamiento.

Los Aislamientos Térmicos, protegen al operario del área de riesgos como quemaduras al contacto con superficies desnudas a temperaturas criogénicas. Al evitar esto empleando materiales aislantes; se beneficia la planta con la disminución de Horas Hombre que se pierden por concepto de incapacidad laboral, y se crea la confianza de que se labora sin accidentes.

De lo anterior se deduce que, el objetivo principal - de algunos Aislamientos, es proporcionar protección al personal. Así mismo existe otro tipo de materiales Aislantes - cuyo principal objetivo, es evitar la ganancia de calor -- del medio ambiente hacia el sistema, otros se diseñan para conservar las condiciones del proceso, etc.

Son muchas las razones por las que se debe dar la im-

portancia necesaria a los materiales Aislantes. Una de ellas por ejemplo es que éstos constantemente se están mejorando. Por lo que el especialista de este campo, debe estar constantemente actualizándose.

Es además importante resaltar que la mayoría de las mejoras actuales de los materiales aislantes, se están enfocando hacia obtener mejores conductividades térmicas.

Este trabajo pretende ser un tributo a un tema que posee en la actualidad poca importancia al realizar un proyecto de diseño y construcción de una planta de proceso.

A P E N D I C E I .

"NOMENCLATURA DE UNIDADES" .

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES.
Q	Transmisión Térmica o Flujo de calor, en general	Watts.
Q _r	Transmisión Térmica por radiación	Watts
	Constante de Stefan-Boltzmann	Watts/m ² °K ⁴
A ₁	Area de superficie interior.	m ² o cm ²
T ₁ ⁴	Temperatura Absoluta	°K
Q _c	Transmisión Térmica por Convección	Watts
h _c o C	Conductancia Térmica	Watts/m ² °C
A	Unidad de Superficie, en general	m ² o cm ²
T	Diferencia de temperatura interior y exterior.	°C

CONTINUACION.

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
Q_k	Transmisión Térmica por Con- ducción	Watts
k	Conductividad Térmica	Watts/m °C
dL	Diferencial de Espesor	Adimensional
L	Espesor de Aislamiento	m o cm.
R	Resistencia Térmica	°C/Watt.
T_o o T_i	Temperatura Inicial	°C
T_1, T_2, T_3	Temperaturas Intermedias	°C
T_n	Temperatura Final	°C
	Sumatoria de una serie de eventos	Adimensional
Z	Longitud de Tramo de Tubería	m o cm.
r	Radio en general	m o cm.
r_1	Radio Exterior de Tubo	m o cm.
r_2	Radio Exterior del Aislamiento	m o cm.
	Constante cuyo valor es 3.14159...	Adimens.
h_o	Conductancia Térmica externa	Watts/m ² °C
X	Tubo	
Y	Aislamiento	
T_m	Temperatura Ambiental	°C
T_2	Temperatura en la superficie exte- rior del aislamiento.	°C

CONTINUACION.

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES.
d_i	Diámetro interior del tubo	m o cm.
d_1	Diámetro Exterior del Tubo	m o cm.
d_2	Diámetro exterior del aislamiento	" "
	Densidad	Kg/m^3
$G_{\text{tot.}}$	Gastos Totales	$\$/\text{año-m}^2$
G_f	Gastos Fijos	" "
$G_{\text{op.}}$	Gastos de Operación	" "
\ln	Logaritmo Natural	
\log	Logaritmo de Base 10	
f_r	Coefficiente de Radiación	$\text{Watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Q_{cn}	Transmisión Térmica por Convección Natural	Watts
Q_{cf}	Transmisión Térmica por Convección Forzada	Watts
f_c	Coefficiente de Convección	$\text{Watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
w	Dimensión en la dirección del flujo de aire	m.
h_2	Conductancia Térmica en la superficie exterior del aislamiento	$\text{Watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

CONTINUACION.

SIMBOLO	DEFINICION	UNIDADES
ϕ	Humedad Relativa	%
la	Inversión de Adquisición	Pesos
It	Inversión Total del Sistema instalado	"
C.U.	Costo Unitario del Material Ais lante	
M. de O.	Mano de Obra	
M. de Ac.	Material de Acabado	
Imprev.	Imprevistos	
G. Indirec.	Gastos Indirectos	Pesos
n	Periodo de Amortización	
r	Interés Anual	
*	Número de Días de Operación al año	
Q_L	Transmisión de Calor a través del espesor de aislamiento.	

A P E N D I C E II.

"DEFINICIONES DE LOS TERMINOS DE AISLAMIENTO TERMICO"

- 1.- ACABADO: Forro compuesto por una cubierta metálica - o por una o varias cubiertas nó metálicas independientes - del aislamiento, cuyo principal objetivo es proteger al -- mismo contra el intemperismo, abuso mecánico, o atmósferas adversas al aislamiento.
- 2.- ADHESIVO: Es todo compuesto cuyo objetivo es unir fir- mamente los aislamientos fibrosos de baja densidad o aisla mientos plásticos mediante fuerzas de atracción. Como ca-- racterísticas principales deben tener, una fácil aplicacié- ón, secado rápido, fuerte adherencia y resistencia a las - temperaturas ambientes.
- 3.- ANCLAJES: Accesorios que sirven de apoyo en la fijaci- ón del aislamiento, pudiendo ser en forma de tuercas, per- nos, anillos etc.
- 4.- BARRERA DE VAPOR: Material que tiene alta resistencia- al paso del vapor de agua, y que es aplicado a tuberías, - recipientes, y equipos que operan a temperaturas inferio - res a la temperatura ambiente. Entre los materiales utili- zados como barreras de vapor se encuentran los mastiques y

adhesivos.

5.- CLASIFICACION DE LOS AISLAMIENTOS PARA BAJA TEMPERATURA:

- a) Granulares
- b) Fibrosos
- c) Espumosos
- d) Monolíticos
- e) Reflectivos.

6.- COEFICIENTE SUPERFICIAL: Es la transmisión térmica por unidad de superficie hasta o desde una superficie que está en contacto con el aire u otro fluido debido a la convección, conducción y radiación, dividida por la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire u otro fluido circundante.

Este coeficiente depende de muchos factores, como el desplazamiento del aire, la rugosidad, la emisividad de la superficie, y la temperatura y naturaleza de los alrededores.

7.- COEFICIENTE DE CONVECCION: Es la cantidad de calor que se transfiere por convección por unidad de tiempo a (o desde), la unidad de superficie dividida por la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire u otro fluido circundante.

La cantidad de calor transferida depende de varios factores incluidos, el espesor de la película de aire "inmóvil", que está en contacto con la superficie, la velocidad del aire y la temperatura.

8.- COEFICIENTE DE RADIACION: Es la cantidad neta de calor radiado por unidad de tiempo y unidad de superficie dividi

da por la diferencia de temperatura entre la superficie - y el aire u otro fluido en el entorno de la superficie.

Es función de la temperatura superficial y del contorno.

9.- CONDUCTANCIA TERMICA: Es la transmisión térmica por - unidad de superficie dividida por la diferencia de temperatura entre los lados frío y caliente. Debe mencionarse la posición en que se efectúa la medición de la superficie.

10.- CONDUCTIVIDAD TERMICA: Propiedad de un Cuerpo homogéneo, definida como la cantidad de calor que fluye perpendicularmente a través de una área unitaria, en la unidad de tiempo, manteniendo una diferencia de temperatura unitaria entre las caras de un material de espesor unitario.

11.- CONSTANTE DE RADIACION: La radiación emitida desde -- una superficie es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta (ley de Stefan); la constante de radiación, es la cantidad de calor radiado por unidad de superficie y tiempo desde la superficie, dividida por la cuarta potencia de la temperatura absoluta de dicha superficie.

12.- DIFUSIVIDAD TERMICA: Es la conductividad térmica dividida por la capacidad térmica y por unidad de volumen.

Es una propiedad característica del material, y se -- utiliza para considerar las distribuciones de temperaturas cuando no se establece el equilibrio térmico.

13.- ABSORTIVIDAD POR RADIACION: Es la fracción de energía radiante absorbida por una superficie, puede expresarse -- cuantitativamente mediante la absorptividad. Esta es la proporción de la radiación incidente absorbida por esa superficie y constituye una propiedad específica del material.

14.- EMISIVIDAD: Es la relación que existe entre la radiación térmica de la unidad de área de la superficie radiante respecto a la radiación de la unidad de área de una superficie "negra" a la misma temperatura.

15.- FACTOR SEGUN LA FORMA: Se refiere a la forma de la estructura y se deriva de la ecuación:

$$Q = kS (T_1 - T_2)$$

En la cual se deduce que:

$$S = Q / k (T_1 - T_2) \quad \text{donde:}$$

S : Factor según la Forma.

Esta cantidad resulta útil para comparar estructuras de parecida pero no sencilla forma geométrica. En la tabla I, se indican los factores según la forma para algunas formas comunes de cuerpos.

TABLA I.- FACTORES COMUNES SEGUN LAS FORMAS.

CUERPO	FACTOR SEGUN LA FORMA	OBSERVACIONES
Placa plana de superficie A y espesor L.	A/L	Por definición - de Conductividad
Tubo o cilindro hueco, de longitud h, y con un radio exterior- e interior de a	$2.73h / \log(a/b)$	Valor teorico su poniendo que no- se produzcan pér

TABLA I.- C O N T I N U A C I O N .

CUERPO	FACTOR SEGUN LA FORMA	OBSERVACIONES
y b respectiva mente		did as finales
Esfera hueca - con un radio - exterior e in- terior de a y- b respectivamente	$4 ab/(a - b)$	Valor Teorico
Caja rectangular - de un espesor unifor me de pared, L, con dimensiones interi- ores de a, b, y c- en donde cada una es mayor que L/5	$A/L + 2.16(a + b + c) + 1.2L$	Basado en la- experiencia. A = Superfi - cie interna = $2(bc + ca + ab)$.
16.- FLEJE: Cinta metálica que sirve para asegurar el ais- lamiento, o cubierta metálica.		
17.- GRAPA O SELLO: Accesorio empleado para la fijación - de flejes.		
18.- HUMEDAD RELATIVA: Es la relación de la presión parci- al del vapor de agua verdaderamente presente en el aire -- respecto a la presión parcial del vapor de agua en el aire saturado a la misma temperatura.		

La humedad relativa también se puede definir en función de densidades, tomando en cuenta que esta es una propiedad de los aislamientos. Entonces:

Es la relación de la densidad real del vapor de agua contenido en el aire, a la densidad del vapor saturado a temperatura de saturación, expresada en porcentaje.

$$\phi = v / d$$

v: Densidad real del vapor
d: Densidad del vapor saturado

La humedad relativa, es una propiedad del vapor solamente. Expresa el alejamiento del vapor de su punto de saturación

19.- **MASTIQUE:** Es todo compuesto para protección del aislamiento que tiene una consistencia susceptible de aplicarse con brocha o por aspersión sobre éste u otras superficies teniendo un espesor de cubierta máximo de 0.76 mm.

20.- **MATERIAL AISLANTE O RESISTENTE A LA HUMEDAD:** Es el material que impide en forma absoluta la transmisión del vapor de agua.

21.- **PRESION DE VAPOR:** De acuerdo con la ley de las presiones parciales, el vapor de agua en presencia de aire ejerce una presión que es directamente proporcional a su concentración volumétrica en el aire. Esta concentración depende del grado de saturación y de la temperatura.

22.- **PUNTO DE ROCIO:** Es la temperatura a la cual empieza la condensación del vapor de agua, bajo condiciones de humedad y presión. La temperatura de punto de rocío corresponde a 100% de humedad relativa.

23.- **PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA:** Es la característica de un material aislante que permite la transmisión del vapor de agua por difusión o presión diferencial.

24.- PERMEANCIA: Es el cociente entre el vapor de agua --- transmitido por unidad de superficie y la diferencia de -- presión entre los dos lados. Muy pocos materiales de los - que se usan en las edificaciones normales o en el aislami- ento para la construcción son impermeables; debe recordar- se que la diferencia de presión de vapor entre los dos la- dos o caras de una estructura aislada en una instalación - de refrigeración puede llegar a ser tan elevada como 366 - Kg/m^2 .

25.- PERM: Es una medida de la transmisión de vapor de - agua. Se define como el grano de vapor de agua, que pasa - a través de una superficie de 0.0929 m^2 , en un lapso de una hora de operación existiendo una diferencia de presión de- 3385 pascal.

26.- CUBIERTA METALICA: Lámina metálica que tiene como ob- jetivo proteger al aislamiento térmico contra el abuso me- cánico.

27.- SELLADOR: Es todo compuesto usado para unir el materi- al aislante y para rellenar las juntas, grietas y fractu- ras de los mismos, obteniéndose un aislamiento continuo.

Debe absorber el movimiento del aislamiento; evitar - el paso del vapor de agua en los traslapes de las barreras de vapor prefabricadas, tener flexibilidad constante y ser resistente al escurrimiento.

28.- TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE METALICA: Es la tempera- tura que se pretende conservar en la superficie metálica - del tubo, siendo la que sirve de base para seleccionar el- material de aislamiento.

29.- TEMPERATURA EXTERIOR DEL AISLAMIENTO: Es la temperatu

ra deseable u obtenible después de colocar un espesor determinado de material aislante.

30.- TONELADA DE REFRIGERACION: Representa el calor necesario, para derretir 907.18 Kg de hielo en agua a 0 °C en -- 24 horas

31.- TRANSMISION TERMICA: Es la cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo en las condiciones que prevalecen en el instante.

32.- RESISTIVIDAD TERMICA: Es el valor inverso de la conductividad térmica

33.- RESISTENCIA TERMICA: Es el valor inverso de la conductancia térmica.

34.- RESISTENCIA SUPERFICIAL: Es el valor inverso del coeficiente superficial.

35.- TRANSMITANCIA TERMICA: Es la transmisión térmica --- a través de la unidad de superficie de una determinada estructura dividida por la diferencia de temperatura entre - el aire u otro fluido sobre cualquier lado de la estructura.

36.- REFLECTIVIDAD: Es la relación que existe entre la cantidad de radiación reflejada respecto a la que incide sobre la superficie.

37.- TEMPERATURA DE BULBO SECO: Es la temperatura real del aire. Se denomina así debido a que se lee en un termómetro cuyo bulbo está seco. El instrumento usado para determinar esta temperatura se denomina Psicrometro.

A P E N D I C E III .-

"TABLAS DE FABRICANTES, CON ESPESORES COMERCIALES DE-
AISLAMIENTO, ASI COMO CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE VA
RIOS AISLAMIENTOS".

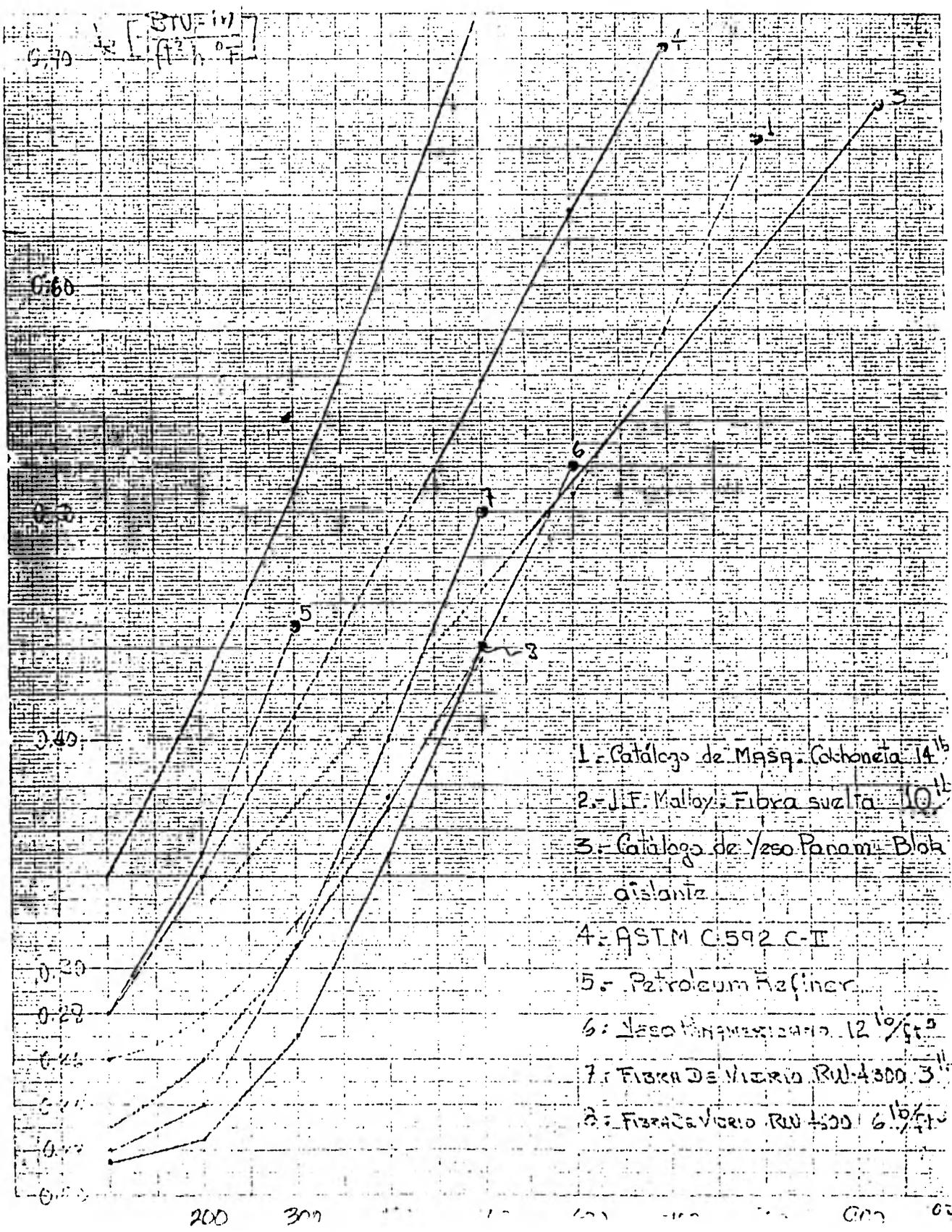
6.0 - TABLAS DE DATOS. (CONTINUACION)

6.1 - ESPESORES DE AISLAMIENTO PARA SERVICIO FRIO. (CONTINUACION)

TABLA I(B)
(HUMEDAD RELATIVA 90%)

DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO EN PULGADAS	TEMPERATURA DE OPERACION °C																
	FIBRA DE VIDRIO (MI3)			ESPUMA RIGIDA DE URETANO (MI4)													
	+39 A +10	+9 A +2	+1 A -18	+9 A +5	+4 A -7	-8 A -18	-19 A -29	-30 A -40	-41 A -51	-52 A -73	-74 A -101	-102 A -129	-130 A -157	-158 A -184	-185 A -212	-213 A -240	-241 A -254
1/2												76					
3/4		38	64	25													
1	25										76	89				102	
1-1/2						51								102			114
2					38			64		76							
2-1/2			76									102	114			127	
3																	
4		51															
6									89	102			127				
8	38		39													140	
10				38	51			76		102	114	127					152
12			102			64							140				
14																	
16																	178
18		64									127						
20	51		114					89		114						178	
24				51			76		102								191
SUPS. PLANAS											140		165	178			203

- BASES: (1) LA TABLA SE BASA EN ESPESORES NECESARIOS PARA PREVENIR LA CONDENSACION DE LA HUMEDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON TEMPERATURA DE 32° C Y VELOCIDAD CERO
- (2) NO SE INCLUYE EL ESPESOR DE ACABADO EN ESTOS ESPESORES.
- (3) VEASE LA TABLA II PARA ESPESORES DE AISLAMIENTO DE MULTICAPA.
- (4) SI EL AISLAMIENTO SE SUMINISTRA CON OTRO ESPESOR DIFERENTE AL MOSTRADO EN ESTA TABLA ES NECESARIO QUE ESTE TENGA EL ESPESOR COMERCIAL INMEDIATO SUPERIOR.



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

CAPITULO I.-

- 1.- Kreith Frank, Principios de Transferencia de Calor.
Editorial: Herrero Hermanos S.A., 1970.
- 2.- Faires, Virgil M., Termodinámica.
Editorial: Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana.
1973.
- 3.- Barron, Randal., Process Engineering.
Editorial: Mc Graw Hill, New York. 1975.

Articulos:

- 1.- Aislantes Térmicos en Plantas de Proceso., Autor: Ing. Ricardo Vivas Arroyo. Edit.: Instituto Mexicano del --
Petroleo. 1979
- 2.- Minuta de una Conferencia celebrada en el Auditorio -
Bruno Maganzoni del Instituto Mexicano del Petroleo -
en donde participaron tres fabricantes: "Vitrofibras",
"Aislatec", y "MASA". 1979.
- 3.- Especificación "L-203". Materiales y su aplicación --
para aislamiento térmico en sistemas de baja temperatur
ra. Del Instituto Mexicano del Petroleo. 1972.
- 4.- Norma: "2.616.02". Aislamientos Térmicos para Baja Temp
eratura. De Petroleos Mexicanos. 1974

CAPITULO II.-

- 1.- Engineering Equipment Users Association. "E.E.U.A", -

Aislamiento Térmico de Tuberías y Depósitos.

Editorial: Labor, S.A. 1976.

2.- Crocker, Sabin., Pipin Handbook.

Editorial: McGraw-Hill Book Company, 1973.

Artículos:

1.- Low Temperature Insulation. John F. White. Monsanto -
Chemical Company, Everett, Massachusetts. Revista: "Ch
emical Engineering Progress"., August, 1948.

2.- Superinsulations. Randall F. Barron., Instructor, Mech
anical Engineering Department. The Ohio State Univer-
sity, Columbus, Ohio. Revista: Machine Design. 1950.

3.- Cryogenic Insulation. R. H. Kropschot. Revista:
"ASHRAE JOURNAL" , September, 1959.

4.- Multiple Layer Insulation. R.H. Kropschot, J. E. Sch -
rodt, M. M. Fulk, and, B. M. Etuder. Revista: Chemical
Engineering Progress. January, 1955.

5.- Thermal Insulation for Process Plant. James Lock, BSc.
Revista: Processing. April 1975.

6.- Thermal Insulation for Industrial Requirements. Ray -
Thomas. Carbide Carbon and Chemicals Company, South --
Charleston, W. Va. Revista: Gulf Publishing Company.-
November, 1952.

7.- Aislantes Térmicos en Plantas de Proceso. Autor: Ing.
Rivardo Vivas Arroyo. Edit. Instituto Mexicano del ---
Petroleo 1979.

CAPITULO III.-

1.- Applied Process Design for Chemical and Petrochemical

- Plants., Vol. 2. Autor: Ernst Ludwig.
 Editorial: Gulf Publishing Company. 1970
- 2.- Crocker, Sabin., Piping Handbook.
 Editorial: McGraw-Hill Book Company, 1973
- 3.- Engineering Equipment Users Association. "E.E.U.A". , -
 Thermal Insulation for Pipes and Vessels.
 Editorial: Labor, S.A. 1976.
- 4.- Marks, Lionel S., Manual del Ingeniero Mecánico.
 Editorial: UTEHA. 1978

Artículos:

- 1.- Aislantes Térmicos en Plantas de Proceso., Autor: Ing.
 Ricardo Vivas Arroyo. Edit.: Instituto Mexicano del Petro-
 leo. 1979.
- 2.- Thermal Insulation for Industrial Requirements. Ray -
 Thomas. Carbide Carbon and Chemical Company, South Charles-
 ton, W. Va. Revista: Gulf Publishing Company. 1952
- 3.- Heat Conduction Through Insulating Supports in Very --
 Low Temperature Equipment. R. P. Mikesell, and R. B.-
 Scott. Revista: Journal of Research of the National --
 Bureau of Standards. Vol. 57 # 6, December, 1956.
- 4.- Protective Mastics for Insulations: O.J. Plunkett, Fos-
 ter División, Atlas preservative Co., Erith. Revista:-
 Chemical and Process Engineering, April, 1972.
- 5.- Thermal Insulation for Process Plant. James Lock, B.Sc
 Revista: Processing., April, 1975.
- 6.- Cryogenic Insulation Development. S.T. Stoy. Air Pro -
 ducts Inc., Allentown Pennsylvania. Revista: Hydrocar-
 bon Processing., May, 1970.
- 7.- Characteristics and Applications of some Superinsulatio-
 ns. P.M. Riede, and D. I-J. Wang. Linde Co. Division -
 of Unión Carbide Corp. Tonawanda, N.Y. 1960.

- 8.- Thermal Conductivity of Commercial Insulations at Low Temperature. J.D. Verschoor., Johns Mansville Research Center, Manville, New Jersey. Rev.: The National Bureau of Standars. 1958.
- 9.- Vessels for the Storage and Transport of Liquid Hydrogen. B.W. Birmingham, E.H. Brown, C.R. Class, and A.F. Schmidt. Revista: Journal and Research of The National Bureau of Standars. Vol. 58, #5 , May, 1957.
- 10.- Insulation for Cryogenic Vessels. L.L. Leach. Humble Oil and Refining Co. Houston. Revista: Hidrocarbon -- Processing. November 1962, Vol.: 41, #11.

CAPITULO IV.-

- 1.- Taylor, George A., Ingenieria Económica.
Editorial: Limusa 1980
- 2.- Engineering Equipment Users Association. "E.E.U.A."--
Thermal Insulation for Pipe and Vessels.
Editorial: Labor, S.A. 1976

Articulos:

- 1.- Aislantes Térmicos en Plantas de Proceso., Autor: Ing. Ricardo Vivas Arroyo. Edit,: Instituto Mexicano del Petróleo.
- 2.- Insulation Design: Using The New Computers Programs.
Autor: J. Miner, Johns Mansville, Sales Corp., Denver-Colorado. Revista: Hidrocarbon Processing. Julu 1980