



21  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ZARAGOZA"

**ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE TRAZADO  
DE VAPOR Y TRAZADO ELECTRICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N:

DOMINGO BADILLO ABREGO

HELADIO GOMEZ MURAT



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.
CAPITULO I. INTRODUCCION	1
CAPITULO II. GENERALIDADES	6
2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS	7
2.2 DEFINICIONES SOBRE TRAZADO DE VAPOR Y TRAZADO ELECTRICO.	8
2.3 ASPECTOS GENERALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR	11
2.3.1 Mecanismos de Transferencia de Calor.	11
2.4 CONDUCCION	15
2.4.1 Flujo de Calor a través de la Pared de un Tubo.	15
2.5 CONVECCION.	17
2.5.1 Coeficiente de Transferencia de Calor.	17
2.5.2 Coeficiente Individual de Transferencia de Calor.	17
2.5.3 Coeficiente Global de Transferencia de Calor.	19
2.6 RADIACION	21
2.6.1 La Radiación Térmica.	21
2.7 VAPOR COMO MEDIO DE CALENTAMIENTO	23
2.7.1 Sistemas de Distribución de Vapor.	25
2.7.2 Agua para Generación de Vapor.	28
2.8 ASPECTOS GENERALES DE ELECTRICIDAD	34
2.8.1 Calentamiento Eléctrico.	38
2.9 AISLAMIENTO TERMICO	44
CAPITULO III. TRAZADO DE VAPOR	48
3.1 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE TUBERIAS	49

	Pág.
3.2 CALENTAMIENTO DE TUBERIAS USANDO VAPOR	54
3.3 TIPOS DE TRAZADO DE VAPOR	56
3.3.1 Trazado Externo.	56
3.3.2 Trazado Enchaquetado con Tubería Externa.	66
3.3.3 Trazado Interno.	68
3.4 COMPONENTES TIPICOS DE TRAZADO DE VAPOR	74
3.4.1 El Sistema de Suministro.	74
3.4.2 Arreglos Típicos.	77
3.4.3 El Trazado de Vapor.	79
3.4.4 Materiales de Trazado de Vapor.	81
3.4.5 Aislamiento de Tubería Trazada.	82
3.4.6 Las Trampas de Vapor.	83
3.4.7 El Sistema de Descarga de Condensados.	88
3.4.8 El Sistema de Retorno.	90
3.5 DISEÑO DEL TRAZADO DE VAPOR	91
3.5.1 Método de Bagder Co.	91
3.5.2 Método de Kholi.	106
3.5.3 Método Thermon.	122
3.6 CEMENTOS QUE TRANSFIEREN CALOR	131
3.6.1 Selección de los Cementos que Transfieren Calor.	132
3.6.2 Aplicación e Instalación de los Cementos.	133
3.7 AISLAMIENTO TERMICO PARA TRAZADO DE VAPOR EN TUBERIAS.	139
3.7.1 Introducción.	139

3.7.2	Materiales Aislantes. Requerimientos Generales.	141
3.7.3	Riesgos a la Salud Asociados con Aislamiento Térmico.	142
3.7.4	Materiales-Descripción.	143
3.7.5	Acabado del Aislamiento y Cubiertas Protectoras.	147
3.7.6	Protección Contra el Fuego.	149
3.7.7	Formas de Aislamiento.	149
3.7.8	Notas Sobre Aplicación.	150
3.7.9	Elaboración de una Especificación de Aislamiento.	153
3.8	ESPECIFICACION GENERAL DE TRAZADO DE VAPOR	155
3.8.1	Generalidades.	155
3.8.2	Diseño.	156
3.8.3	Detalles de Diseño.	157
3.8.4	Requisitos Generales de Instalación.	157
3.9	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRAZADO DE VAPOR	173
3.9.1	Trazado Externo.	173
3.9.2	Trazado Enchaquetado con Tubería Externa.	174
3.9.3	Trazado Interno.	174
CAPITULO IV. TRAZADO ELECTRICO		176
4.1	SISTEMAS DE CALENTAMIENTO ELECTRICO	177
4.2	CALENTAMIENTO CON RESISTENCIAS	179
4.3	TIPOS DE TRAZADO ELECTRICO	181
4.3.1	Trazado con Resistencia Directa.	181
4.3.2	Trazado con Resistencias Indirectas.	182

	Pág.
4.3.3 Trazado por Inducción.	197
4.4 COMPONENTES TIPICOS DE TRAZADO ELECTRICO	202
4.4.1 Sistema de Suministro de Energía.	202
4.4.2 Sistema de Control.	204
4.4.3 Sistema de Trazado.	205
4.4.4 Accesorios de Trazado Eléctrico.	209
4.5 DISEÑO DEL TRAZADO ELECTRICO	211
4.5.1 Introducción.	211
4.5.2 Determinación del Número de Circuitos.	211
4.5.3 Transferencia de Calor en Trazado Eléctrico.	217
4.5.4 Selección de Cables de Calentamiento.	220
4.5.5 Resolución de Problemas Típicos.	222
4.5.6 Selección de Cintas de Calentamiento.	233
4.6 REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO PARA TRAZADO ELECTRICO.	242
4.6.1 Selección de Materiales Aislantes.	242
4.6.2 Selección de Protección Contra el Medio Ambiente.	244
4.6.3 Pérdidas de Calor a Través del Aislamiento Térmico.	245
4.7 ESPECIFICACION GENERAL DE TRAZADO ELECTRICO.	251
4.7.1 Generalidades.	251
4.7.2 Diseño.	251
4.7.3 Requisitos Generales de Instalación.	252
4.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRAZADO ELECTRICO	258
4.8.1 Trazado con Resistencia Directa.	258

	Pág.
4.8.2 Trazado con Resistencias Indirectas.	258
4.8.3 Trazado por Inducción.	260
<b>CAPITULO V. APLICACIONES</b>	<b>262</b>
5.1 INTRODUCCION	263
5.2 BASES DE DISEÑO	264
5.2.1 Generalidades.	264
5.2.2 Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad	264
5.2.3 Especificación de la Alimentación.	265
5.2.4 Especificación de los Productos.	266
5.2.5 Alimentación en Límites de Batería.	266
5.2.6 Productos en Límites de Batería.	266
5.2.7 Servicios Auxiliares.	267
5.2.8 Condiciones Climatológicas.	271
5.2.9 Localización de la Planta.	272
5.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (B.M.E.)	273
5.4 PLANO DE LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPO	280
5.5 DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION	281
5.6 DESCRIPCION DEL PROCESO	282
5.6.1 Sección de Carga.	282
5.6.2 Sección de Fraccionamiento.	283
5.6.3 Sección de Compresión de Gas.	287
5.6.4 Sistema de Generación de Vapor.	287
5.6.5 Definición de la Temperatura de Trazado.	288
5.7 IDENTIFICACION DE LINEAS CON REQUERIMIENTOS DE TRAZADO.	290

	Pág.
5.8 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRAZADO	294
5.9 RESULTADOS	300
5.9.1 Comparación de Resultados y Selección del Sistema más Adecuado.	300
CAPITULO VI. ESTUDIO ECONOMICO.	311
6.1 BASES DE ESTUDIO	312
6.1.1 Trazado de Vapor	313
6.1.2 Trazado Eléctrico	314
6.2 ESTUDIO ECONOMICO DEL TRAZADO DE VAPOR	317
6.2.1 Costos de Capital	317
6.2.2 Costos Operativos	322
6.3 ESTUDIO ECONOMICO DEL TRAZADO ELECTRICO	324
6.3.1 Costos de Capital	324
6.3.2 Costos Operativos	326
6.4 RESULTADOS	328
CAPITULO VII. CONCLUSIONES	329
CAPITULO VIII. BIBLIOGRAFIA	333



**CAPITULO I**

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

La necesidad de calentamiento de fluidos de proceso dentro de las plantas industriales, hace posible la investigación y desarrollo de los distintos tipos y métodos de calentamiento. Estos tipos y métodos se conocen con el nombre de trazados.

Un trazado es una línea de calentamiento que conduce un fluido caliente, generalmente vapor de agua y que avanza junto con la tubería de proceso, dentro o fuera de ella, o bien pueden ser resistencias del tipo; cintas, bandas y cables de calentamiento que corren paralelamente a la tubería, o se enrollan alrededor de ella.

El propósito de los trazados es suministrar energía calorífica a tuberías en las cuales sea necesario mantener la temperatura del fluido que en ella circula, ya sea por las características físicas de este o bien porque así lo requiere el proceso, por ejemplo; para evitar una solidificación o una condensación dentro de la tubería o para mantener el fluido a cierta viscosidad, etc. Se suministra energía calorífica para compensar las pérdidas de calor al medio ambiente que tienen las tuberías a lo largo de su trayectoria.

Actualmente, para las necesidades de calentamiento de tuberías en una planta de proceso, debe hacerse un estudio técnico-económico detallado acerca de las alternativas que existen para cubrir dichas necesidades.

El desarrollo del presente trabajo tiene como objetivos aplicar distintas áreas de la Ingeniería Química como lo son: La Transferencia de Calor, Flujo de Fluidos, Ing. Eléctrica, Balances de Materia y Energía, Ing. Económica, -

etc., a los sistemas de trazado de vapor y trazado eléctrico en una planta - de proceso como métodos de calentamiento de tuberías.

Todo esto proporciona las herramientas necesarias para realizar un estudio - técnico del mejor tipo de trazado y métodos de cálculo en una planta de proceso conjuntamente con un estudio económico, lo cual da como resultado la selección adecuada del tipo de trazado que debe ser instalado ofreciendo además los requerimientos de seguridad.

En general, el contenido del trabajo es el siguiente:

En el Capítulo II se exponen brevemente las bases teóricas en las que se fundamenta el diseño de los sistemas de trazado de vapor y trazado eléctrico, - se analiza la transferencia de calor a través de sus diferentes mecanismos, - los fundamentos de electricidad en que se basan los sistemas de trazado - - eléctrico, se estudia al vapor como medio de calentamiento, así como la forma de generarlo y se introduce en un aspecto muy importante de los sistemas - de trazado; el aislamiento térmico.

El Capítulo III se refiere propiamente a trazado de vapor, en él se tratan - los sistemas de calentamiento de tuberías, el sistema de calentamiento de tuberías usando vapor (trazados), los distintos tipos de trazado de vapor, así como los componentes típicos del sistema. Se dan los criterios de diseño, - métodos de cálculo, las especificaciones generales, los cementos que transfieren calor, así como el aislamiento térmico para los sistemas de trazado - de vapor y las principales ventajas y desventajas del sistema.

El Capítulo IV trata los sistemas de trazado eléctrico, se estudian los distintos sistemas de calentamiento eléctrico, el calentamiento con resistencias, los tipos de trazado eléctrico; con una resistencia directa, con resistencias indirectas y por inducción. Se establecen los criterios de diseño, métodos de cálculo, las especificaciones generales de instalación, cementos que transfieren calor, aislamiento térmico y las principales ventajas y desventajas de estos sistemas.

En el Capítulo V se da propiamente la aplicación de los sistemas de trazado. Para esto, se diseñan los sistemas de trazado de vapor y eléctrico, en las líneas que así lo requieren dentro de una Planta Reductora de Viscosidad. Primeramente se establece la importancia y las necesidades de trazado en la planta. Para esto se cuenta con información tal como: Bases de Diseño, Diagrama de Flujo de Proceso, Balance de Materia y Energía, DTI's de Proceso y Plano de Localización General.

Con esta información se hace una descripción del proceso y se definen los requerimientos de trazado de la planta, es decir, se hace una identificación de las líneas a trazar. Con esto se procede al diseño del trazado de vapor y eléctrico, obteniéndose como resultado todas las especificaciones técnicas de los trazados.

El Capítulo VI trata del estudio económico aplicado a los sistemas de trazado de vapor y eléctrico. Aquí se trata fundamentalmente de; el estimado de costos de capital, los costos operativos y de mantenimiento, el costo de los insumos (en este caso vapor y energía eléctrica), lo cual proporciona un mar

co comparativo para la selección del sistema que más se adapte económicamente a las necesidades de la planta.

Es de tomarse en cuenta que la mejor selección debe satisfacer los aspectos tanto técnicos como económicos, dado que existen sistemas en los cuales por requerimientos técnicos solo puede ser aceptado un solo tipo de trazado. Por ejemplo; en sistemas que manejen fluidos de alta flamabilidad, no se justifica la presencia de trazado eléctrico, y por seguridad, debe ser instalado un sistema de trazado de vapor.

Otro aspecto importante que debe ser considerado es la disponibilidad de servicios auxiliares en la planta, tales como vapor y energía eléctrica, ya que en determinado momento esto podría determinar la instalación de determinado tipo de trazado.

El Capítulo VII se refiere a las conclusiones del trabajo, aquí se mencionan los aspectos más importantes que deben ser tomados en cuenta para la comparación técnico-económica que nos conducirá a la selección del sistema de trazado que más se adecúe a las necesidades de la planta.

Finalmente se dan las referencias bibliográficas que apoyan el trabajo.

CAPITULO II

GENERALIDADES

## 2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS.

En este capítulo trataremos en forma general los principales fundamentos teóricos en que se basan los sistemas de trazado, como lo son la -- transferencia de calor a través de sus diferentes mecanismos: molecular, turbulento y radiación.

Se describirá el vapor como una de las principales fuentes de calentamiento en la industria, además de indicar los sistemas de distribución de vapor, así como el agua para la generación de este.

Otro aspecto muy importante en los sistemas de trazado, son los aislamientos térmicos, los cuales serán tratados brevemente en forma general y específicamente aplicados a los sistemas de trazado.

Se tratarán en forma general los principales fundamentos de electricidad en que se basan los sistemas de trazado eléctrico, no sin antes definir específicamente que es un sistema de trazado de vapor y trazado eléctrico, sus aplicaciones a nivel industrial y las ventajas y desventajas que tienen con respecto a otros medios de calentamiento.

## 2.2 DEFINICIONES SOBRE TRAZADO DE VAPOR Y TRAZADO ELECTRICO.

El trazado de calor es un término usado para indicar el calor que hay que adicionar o sustraer de una tubería de proceso para mantener la temperatura adecuada del gas o líquido dentro de ella. Por ejemplo, cuando un líquido de alto punto de congelación es bombeado de un punto a otro, este puede requerir de una adición de calor para compensar las pérdidas de energía a través del aislante de la tubería.

El trazado de calor también se aplica en equipos de proceso, como por ejemplo; para mantener un líquido a una viscosidad apropiada dentro de un tanque o reactor y este pueda ser bombeado adecuadamente.

Cuando la tubería de proceso funciona intermitentemente y existe un fluido muy viscoso o de alto punto de congelación, puede aplicarse un trazado de calor para que este pueda permanecer dentro de la tubería a una viscosidad adecuada o para prevenir que solidifique.

Para sustraer calor de una tubería, se puede emplear un trazado en el que circule algún líquido refrigerante. Es obvio que el trazado de vapor se utiliza para adicionar calor al fluido de proceso.

Existen dos clases de trazado de calor; el de vapor y el eléctrico. El trazado de vapor significa líneas de tubería por las que fluye vapor como medio de calentamiento. El vapor representa una forma de energía que se manifiesta en forma de flujo desde un punto de temperatura  $T_2$  a-



otro de temperatura  $T_1$ , en donde  $T_2$  es mayor que  $T_1$ . A este cambio de temperatura entre el fluido caliente y el fluido frío se conoce a menudo como gradiente de temperaturas. Por tanto, en este tipo de trazado la transferencia de calor se hace de una fase caliente a una fase fría y las dos fases están separadas mediante una frontera sólida.

El trazado eléctrico se caracteriza por estar formado por cintas o bandas calefactoras y resistencias de tipo eléctrico, paralelas o enrolladas a lo largo de la tubería o colocadas alrededor del equipo de proceso, para mantener la temperatura deseada del fluido. Estas cintas, bandas o resistencias requieren de energía eléctrica como medio de calentamiento. La energía eléctrica también representa una forma de energía que se manifiesta debido a una diferencia de temperatura entre el material eléctrico y el fluido. En este tipo de trazado, la transferencia de calor se realiza entre una fase sólida caliente que es el material eléctrico (cintas y bandas calefactoras, resistencias como: cables y la misma tubería) y una fase fría (fluido de proceso) las cuales se encuentran separadas mediante una frontera sólida, que en este caso es la tubería o equipo de proceso.

De esto, se puede deducir, que tanto un trazado de vapor como uno eléctrico pueden ser empleados para:

1. Prevenir la solidificación de líquidos con un alto punto de congelación.
2. Mantener el fluido a viscosidades apropiadas.
3. Ayudar al precalentamiento de fluidos que necesiten alcanzar rápida

mente temperaturas elevadas.

La utilización de un trazado de vapor o un trazado eléctrico depende de las necesidades de la planta, del costo del sistema e instalación de cada uno de ellos, y de los requerimientos y costos de la generación de vapor y electricidad, etc.

Como conclusión, se puede decir, que los trazados de calor no pueden caracterizarse por un solo diseño, ya que las variedades de los trazados de vapor y eléctrico son prácticamente ilimitadas. Sin embargo, la única característica en común de la mayor parte de los trazados, es que la transferencia de calor se hace de una fase caliente (que puede ser sólida, líquida o gaseosa) a una fase fría (fluido de proceso) y que las dos fases están separadas por una frontera metálica.

## 2.3 ASPECTOS GENERALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

### 2.3.1 Mecanismos de Transferencia de Calor.<sup>40, 44, 45</sup>

Existen tres formas o mecanismos mediante los cuales el calor -- puede ser transferido, ya sea que se presenten en forma indivi-- dual o más comúnmente combinados y estos son:

Molecular: La transferencia de calor mediante acción molecular, -- recibe el nombre de conducción.

Turbulento: La transferencia de calor mediante un proceso de mez-- clado; el cual puede ser libre o forzado, recibe el nombre de -- convección.

Radiación: Es la transferencia de calor mediante emisión y absor-- ción de energía sin que exista contacto físico; a diferencia de-- la conducción o de la convección, que dependen del contacto fisi-- co para que la transferencia de energía térmica tenga lugar, la-- radiación depende de las ondas electromagnéticas de una fuente - caliente a un receptor que se encuentra a temperatura más baja.

a) Conducción. La conducción es la transferencia de calor a -- través de un material fijo tal como una pared estacionaria - Fig. (2.3.1), la dirección del flujo de calor será en ángu-- los rectos a la pared, si las superficies de las paredes son isotérmicas y el cuerpo se homogéneo e isotrópico. Supóngase que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y un receptor de calor en la superficie derecha, se sabe y-- después se confirmará por una derivación, que el flujo de ca

lor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared ( $A$ ). Si  $t$  es la temperatura en cualquier punto de la pared y  $x$  es el espesor de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de calor  $dQ$  está dada por:

$$dQ = kA(-dt/dx) \text{ Btu/hr} \quad (2.3.1)$$

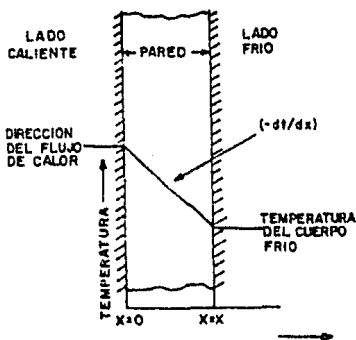


FIG. 2.3.1 FLUJO DE CALOR A TRAVES DE UNA PARED.

El término  $-dt/dx$  se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared en donde  $x = 0$  y menor en la cara donde  $x = x$ . En otras palabras la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura  $dt$  que impulsa el calor a través de la pared de espesor  $dx$ . La constante de proporcionalidad  $k$  es peculiar a la transmisión de calor por conducción y se le conoce como conductividad térmica, la cual se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la Ec. (2.3.1).

La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor de calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto, estos últimos sirven como aislantes. Aún cuando la conducción de la energía térmica se asocia u--

sualmente a sólidos, también es aplicable a gases y a líquidos con sus limitaciones.

- b) **Convección.** La convección es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de una mezcla. Supóngase que un recipiente con líquido se coloca sobre una llama, el líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y disminuye su densidad, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende. La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o convección libre. Si se produce agitación por algún medio externo como un agitador, el proceso es convección forzada. Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito en una ecuación que adopta la forma de la ecuación de conducción y está dada por:

$$dQ = hAdt \quad (2.3.2)$$

La constante de proporcionalidad  $h$  es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación, y debe ser evaluado experimentalmente. Se llama coeficiente de transferencia de calor. Cuando la Ec. (2.3.2) se escribe en forma integrada,  $Q = hA\Delta T$ , se le conoce con el nombre de Ley de Enfriamiento de Newton.

- c) Radiación. La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, parte de la energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada en él. Basándose en la segunda ley de la termodinámica, -- Boltzman estableció que la velocidad con la que una fuente da calor es:

$$dQ = \epsilon \sigma dA T^4 \quad (2.3.3)$$

Esto se conoce como la Ley de la cuarta potencia, T es la temperatura absoluta,  $\sigma$  Es una constante dimensional,  $\epsilon$  es un factor peculiar a la radiación y se llama emisividad. La emisividad al igual que la conductividad térmica k o el coeficiente de transferencia de calor h, debe también determinarse experimentalmente.

En los puntos siguientes trataremos en forma individual los tres fenómenos de transferencia de calor y después la manera en la cual tienen influencia en los sistemas de trazado de calor, no sin tratar al vapor como una de las principales fuentes de calentamiento en la industria.

## 2.4 CONDUCCION.

La Ley de Fourier es la ecuación diferencial fundamental para la transferencia de calor por conducción:

$$dq/d\theta = -kAdt/dx \quad (2.4.1)$$

en donde  $dQ/d\theta$  (cantidad de calor por unidad de tiempo) es la rapidez de flujo de calor,  $A$  es el área en ángulo recto con la dirección en la que fluye el calor y  $-dt/dx$  es la rapidez de cambio de temperatura con la distancia, en la dirección del flujo de calor, o sea, el gradiente de temperatura. El factor  $k$  se denomina conductividad térmica; es una propiedad del material a través del cual fluye calor y varía con la temperatura.

Cuando el flujo de calor es constante como en el estado estable,  $dQ/d\theta$  de la Ec. (2.4.1) es constante y se puede reemplazar simplemente por  $Q$ , obteniéndose la ecuación de estado estacionario que puede escribirse como:

$$Q = -kAdt/dx \quad (2.4.2)$$

### 2.4.1 Flujo de Calor a Través de la Pared de un tubo.

Centraremos nuestra atención en este punto debido a que se trata de nuestro problema en particular.

En el flujo de calor a través de una pared plana, el área de flujo de calor es constante a través de toda la trayectoria, si ob-

servamos la Fig. (2.4.1), que muestra un tubo con longitud unitaria, el área de la trayectoria del flujo de calor a través del tubo aumenta con la distancia de la trayectoria,  $r_1$  hasta  $r_2$ , el área a cualquier radio  $r$  está dada por:  $2\pi r \times L$ , donde  $L = 1$ , y si el calor fluye hacia afuera del cilindro, el gradiente de temperatura para el incremento de longitud  $dr$  es  $dt/dr$ . La Ec. (2.3.1) se transforma en:

$$q = 2\pi rk(-dt/dr) \text{ Btu/hr-ft} \quad (2.4.3)$$

integrando:

$$t = (-q/(2\pi k)) \ln r + C_1 \quad (2.4.4)$$

donde  $r = r_i$  y  $t = t_i$ , y cuando  $r = r_o$  y  $t = t_o$ ; donde  $i$  y  $o$  se refieren a las superficies interna y externa respectivamente, entonces:

$$q = 2\pi k(t_i - t_o)/\ln(r_o/r_i) \quad (2.4.5)$$

si  $D$  es el diámetro:

$$r_o/r_i = D_o/D_i$$

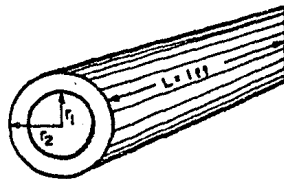


FIG. 2.4.1 FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE LA PARED DE UN TUBO.

Con base en la Fig. (2.4.2), que se trata de una resistencia cilíndrica compuesta tenemos:

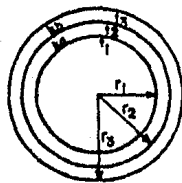


FIG. 2.4.2 RESISTENCIA CILÍNDRICA EN SERIE

$$t_1 = t_2 + q/2\pi k_a \ln(D_2/D_1) \quad (2.4.6)$$

$$t_2 = t_3 + q/2\pi k_b \ln(D_3/D_2) \quad (2.4.7)$$

sumando las ecuaciones:

$$t_1 - t_3 = (q/2\pi) (1/k_a \ln D_2/D_1 + 1/k_b \ln D_3/D_2) \quad (2.4.8)$$



## 2.5 CONVECCION.

### 2.5.1 Coeficiente de Transferencia de Calor.

En la mayoría de los casos de transferencia de calor que se encuentran en la práctica industrial se transfiere calor de un fluido a través de una pared sólida a otro fluido. Supóngase un fluido caliente a una temperatura  $t_1$  que circula por un lado de una pared metálica y un fluido frío en  $t_2$  que pasa por el otro lado, al que se adhiere una escama de espesor  $x_s$ . En ese caso, las condiciones obtenidas en una sección dada se ilustran gráficamente en la Fig. (2.5.1).

En caso del flujo turbulento de un fluido junto a un sólido, se sabe desde hace tiempo que, en la cercanía inmediata de la superficie, existe una zona relativamente tranquila de fluido, que se denomina comúnmente PELÍCULA. Al acercarse la pared del cuerpo

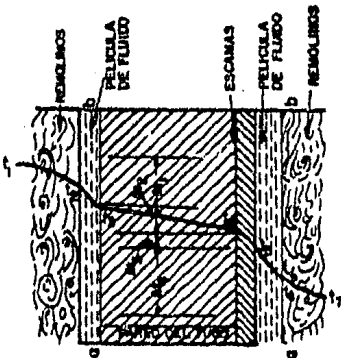


FIG. 2.5.1 GRADIENTES DE TEMPERATURA PARA EL FLUJO CONSTANTE DE CALOR POR CONDUCCION Y CONVECCION.

al fluido en circulación, el flujo --  
tiende a hacerse menos turbulento y --  
se desarrolla como flujo laminar inme--  
diatamente adyacente a la pared. La--  
película consiste en la porción del --  
flujo que tiene esencialmente un mo--  
vimiento laminar y por el que se trans--  
fiere calor mediante la conducción mo--  
lecular.

### 2.5.2 Coeficiente Individual de Transferencia de Calor.

Por la estructura complicada de una corriente de flujo turbulento y lo impracticable de la medición de los espesores de las diversas capas y sus temperaturas, se define la rapidez local de transferencia de calor entre fluido y sólido mediante las ecuaciones:

$$dq = h_i dA_i (t_1 - t_3) = h_o dA_o (t_5 - t_7) \quad (2.5.1)$$

en donde  $h_i$  y  $h_o$  son los coeficientes locales de transferencia de calor dentro y fuera de la pared respectivamente, y las temperaturas se definen mediante la Fig. (2.5.1).

La definición del coeficiente de transferencia de calor es arbitraria, dependiendo de si se utilizan la temperatura de fluido masivo, la temperatura de línea central o alguna otra temperatura de referencia, para  $t_1$  o  $t_7$ . La Ec. (2.5.1) es una expresión de la Ley de Enfriamiento de Newton. Los gradientes de temperatura tanto en el fluido como en el sólido adyacente a la interfase de fluido-sólido se pueden relacionar también con el coeficiente de transferencia de calor:

$$dq = h_i dA_i (t_1 - t_3) = (-k dt/dx)_{\text{fluido}} = (-k dt/dx)_{\text{sólido}} \quad (2.5.2)$$

La Ec.(2.5.2) solo es válida para el líquido, si existe flujo laminar inmediatamente adyacente a la superficie sólida. La integración de la Ec.(2.5.1) dara:

$$A_i = \int_{\text{dentro}}^{\text{fuera}} dq/h_i \Delta t_i \quad \text{ó} \quad A_o = \int_{\text{dentro}}^{\text{fuera}} dq/h_o \Delta t_o \quad (2.5.3)$$

que se puede evaluar solamente si es posible expresar las cantidades bajo la integral en función de una sola variable. Si  $q$  es una función lineal de  $t$  y  $h$  es constante, entonces la Ec. (2.5.3) - da:

$$q = hA(\Delta t_{\text{dentro}} - \Delta t_{\text{fuera}}) / \ln(\Delta t_{\text{dentro}} / \Delta t_{\text{fuera}}) \quad (2.5.4)$$

en donde el factor  $\Delta t$  es la diferencia media logarítmica de temperaturas entre la pared y el fluido.

### 2.5.3 Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

Al probar equipos comerciales de transferencia de calor, no es conveniente medir la temperatura de los tubos ( $t_3$  o  $t_4$ ), en la Fig. - (2.5.1) y, por ende, el rendimiento global se expresa como un coeficiente global de transferencia de calor  $U$ , basado en un área conveniente  $dA$ , que puede ser  $dA_i$ ,  $dA_o$ , o un promedio de  $dA_i$  y  $dA_o$ ; - por lo tanto, por definición:

$$dq = U dA (t_1 - t_7) \quad (2.5.5)$$

$U$  se denomina "coeficiente global de transferencia de calor".

La rapidez de conducción a través de la pared del tubo y la deposición de escamas se da mediante:

$$dq = k dA_{\text{prom}} (t_3 - t_4) / x = h_d dA_d (t_4 - t_5) \quad (2.5.6)$$

al eliminar  $t_3$ ,  $t_4$  y  $t_5$  de las Ecs. (2.5.1), (2.5.5) y (2.5.6), la expresión completa para la rapidez constante de flujo de calor de-

un fluido a través de la pared y la escama, a un segundo fluido, como se ilustra en la Fig.(2.5.1) es:

$$\begin{aligned}dq &= \frac{t_1 - t_7}{1/h_i dA_i + x/kdA_{prom} + 1/h_d dA_d + 1/h_o dA_o} \\ &= U dA (t_1 - t_7)\end{aligned}\tag{2.5.7}$$

## 2.6 RADIACION.

### 2.6.1 La Radiación Térmica.

Se define como energía electromagnética en transporte, se emite dentro de la materia excitada por la temperatura; se absorbe en otras materias, a distancias de la fuente que dependen de la trayectoria libre media de los fotones emitidos. La razón de la trayectoria libre media implícita es un proceso de transporte de energía a una dimensión característica del sistema que interesa, determina la estructura matemática de la formulación.

En general, los sólidos tienen trayectorias libres medias de fotones lo suficientemente pequeñas (coeficientes suficientemente altos de absorción), para que la radiación que escapa por la superficie se origine cerca de ella; entonces, la pérdida por radiación es identificable con su temperatura superficial.

La radiación difiere de la conducción y la convección, no solo en la estructura matemática, sino también en el hecho de que es más sensible a la temperatura. Tiene una importancia predominante en los hornos, debido a su temperatura, y en el aislamiento criogénico; por el vacío que existe entre partículas. La temperatura, que representa aproximadamente la mitad de la pérdida total de calor a partir de una superficie en el aire, depende de factores tales como la emisividad superficial y el coeficiente de convección.

Los gases a temperaturas de cámaras de combustión pierden más -- del 90% de su energía mediante la radiación del dióxido de carbono, vapor de agua y otras materias existentes como partículas.

## 2.7 VAPOR COMO MEDIO DE CALENTAMIENTO. <sup>38.42</sup>

El vapor es el fluido de transporte de calor que más se utiliza, ya que se trata de una sustancia no tóxica cuyo único riesgo es el de sus limitaciones básicas, o sea, su elevada presión de vapor y su bajo punto -- crítico. Las presiones de vapor que se requieren para dar una temperatura de saturación de 400°F, no se encuentran con frecuencia disponibles en las plantas de proceso y el calor latente deja de existir a 703°F. - El vapor supera a muchos fluidos en cuanto a la disponibilidad, la estabilidad, el bajo costo, la capacidad elevada de transporte de calor y - la seguridad. Si la temperatura deseada se encuentra en el rango de -- 200 a 500°F, el vapor será el fluido ideal de trabajo. Ningún otro material es tan adaptable como él a una función doble; de calentamiento - del proceso y generación de energía eléctrica.

El vapor además de ser una fuente de energía directa para la operación de bombas y turbinas, es también el medio más útil de calentamiento en una planta de proceso. Aunque algunas plantas pueden comprar energía - eléctrica, la mayoría de estas generalmente producen vapor.

Los sistemas comerciales de vapor parten de la energía bruta en la forma de calor de combustión del combustible. En las plantas de vapor, el combustible constituye el concepto mayor de gastos operacionales. Los precios de los combustibles se pueden aplicar al rendimiento térmico, - con el fin de determinar la contribución al costo de producción por parte del combustible.

A las plantas de proceso les resulta más barato adquirir energía eléctrica que hacer funcionar sus propias plantas generadoras de energía eléctrica por medio de vapor, ante las tarifas bajas de los servicios seguros y eficientes de utilidad pública. Sin embargo, se puede justificar la instalación de una planta generadora por la disponibilidad de subproductos combustibles o la oportunidad de utilizar vapor de proceso, tanto para los procesos industriales principales como para los servicios de electricidad en la planta, calefacción del lugar, la compresión de aire, la limpieza y los servicios generales.

Para las plantas que compran la electricidad y producen su propio vapor, un cuarto central de calderas puede proporcionar vapor para toda la planta, o bien, cerca del área de uso pueden instalarse calderas pequeñas. En plantas grandes puede resultar económico disponer de calderas que reduzcan los costos de tuberías de distribución. Para determinar el tipo y número de calderas requeridas y el arreglo más adecuado del sistema de distribución, se debe hacer un cuidadoso estudio económico.

En las etapas iniciales de la generación de vapor, se evapora agua que está en equilibrio, a la presión del vapor con el agua hirviente. Este vapor de agua se conoce como vapor saturado y cualquier disminución de temperatura o aumento de presión hará comenzar la condensación. Para la mayoría de los usos, la humedad en el vapor no es deseable y es perjudicial a equipos tales como las turbinas, cuyos álabes son severamente erosionados por el vapor húmedo.



En la mayoría de los generadores de vapor se obtiene un vapor del tipo saturado, teniéndose posibilidad de sobrecalentarlo a través de equipo de intercambio de calor (sobrecalentador), el cual se localiza en un área caliente del hogar de la caldera. El vapor se calienta por arriba de su temperatura de saturación por lo que estará lo suficientemente seco para proporcionar vapor libre de humedad a todos los usuarios.

#### 2.7.1 Sistemas de Distribución de Vapor.

Las tuberías de distribución de vapor deben estar cuidadosamente diseñadas para asegurar una operación prolongada, exenta de problemas (fugas en accesorios y tuberías mal unidas). El sistema ideal de vapor debe proporcionar vapor continuamente con el mínimo de mantenimiento.

Los tamaños de las líneas de vapor no deben estar gobernados únicamente por la caída de presión. Las pérdidas de calor pueden reducirse usando altas velocidades, como lo sugiere la Tabla - - (2.7.1).

Condición del Vapor	Presión manométrica, lb/in <sup>2</sup> .	Servicio	Velocidad razonable ft/min
Saturado	0 - 15	Calentamiento (Líneas cor--tas).	4000 a 6000
Saturado	50 y más	Diversos.	6000 a 10000
Sobrecalentado	200 y más	Diversos.	7000 a 20000

TABLA (2.7.1) Velocidades convencionales para tuberías de distribución de vapor.

La tubería del sistema de distribución puede ir colocada a nivel de piso, sobre "Durmientes" de concreto, o de preferencia arriba del nivel del piso sobre soportes de acero estructural o de concreto reforzado. Las tuberías que van a nivel del piso constituyen un obstáculo y al cruzar las calles deben ser enterradas o elevadas, lo cual origina en la línea una bolsa en donde el condensado puede quedar atrapado.

El condensado debe ser acumulado en puntos predeterminados de la tubería de distribución y en los puntos de uso, y luego debe ser descargado continuamente, por medio de trampas de vapor, en un sistema de condensado para su regreso al cuarto de calderas. Es muy conveniente que la tubería de retorno corra cerca de la tubería principal de distribución a modo que las trampas de vapor de esta última tubería puedan descargar en la tubería de condensado. Si se usan varios sistemas de vapor a diferentes presiones, las trampas de vapor pueden ser dispuestas a manera de que descarguen individualmente en servicios de presión sucesivamente más baja.

Para evitar la acumulación de condensados en puntos diferentes a los que tienen trampas de vapor debe realizarse un cuidadoso arreglo de válvulas y tubería ya que en climas fríos la congelación del condensado atrapado en la línea puede acarrear grandes dificultades. Los ramales de los cabezales principales deben sa

lir verticalmente de la parte superior del cabezal y luego correr horizontalmente lo que se requiera. En el trayecto horizontal de la tubería se pueden instalar válvulas de retención, con lo que el condensado drenará libremente en cualquier lado de la válvula. Los desvíos (By-Pass) de las válvulas deben localizarse encima de ellas, con un pequeño purgador instalado entre las válvulas del desvío.

En largos tramos horizontales de tubería, se instalan piernas para acumulación de condensado. Dichas piernas se construyen de tubo y tapones-cachucha, dos medidas mayores que el tamaño de la línea, y se sueldan verticalmente en la parte más baja del tramo de tubería considerado. En la pierna de condensado se instala una placa vertical para desviar el vapor y la humedad hacia la pierna. En tanto que el vapor hace una vuelta de  $180^\circ$ , el agua cae a la pierna. Para separar el condensado, en el fondo de la pierna se conecta una trampa de vapor.

El aislamiento para las tuberías de vapor, especialmente para los cabezales principales, debe ser seleccionado y diseñado para una duración prolongada. Por lo general, para las líneas de vapor se recomiendan estudios económicos sobre el espesor óptimo del aislamiento, ya que de esta manera los costos se definen con mayor claridad. Dichos estudios deben ser efectuados para las líneas de diámetros grandes.

### 2.7.2 Agua Para Generación de Vapor.

El agua es el fluido de trabajo de los sistemas de vapor y una de las sustancias naturales más abundantes; sin embargo, nunca se encuentra en estado puro, adecuado para la alimentación directa a una caldera. Por lo general, en estado natural, el agua se encuentra turbia, con materias sólidas en suspensión fina. Inclusive cuando está clara, el agua natural contiene soluciones de sales y ácidos que dañan con rapidez el acero o los metales a base de cobre de los sistemas de vapor.

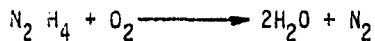
Las diversas sustancias presentes en el agua se pueden clasificar como:

- a) Sustancias corrosivas.
- b) Sustancias que forman escamas.
- c) Sustancias productoras de espuma.

Las sustancias corrosivas se encuentran comúnmente en forma de soluciones ácidas o como gases disueltos, tales como el dióxido de carbono, oxígeno, hidrógeno, el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco. El oxígeno y el dióxido de carbono se disuelven en el agua de alimentación por aeración y contacto inevitable con la atmósfera, puesto que la solubilidad del oxígeno disminuye al aumentar la temperatura del agua, el método más común de eliminación es el de la desaeración del agua, en donde esta se calienta hasta el punto de ebullición mediante contacto directo con vapor y se permite que el agua calentada se desplome en cascada sobre-

bandejas. Las bandejas incrementan la superficie expuesta y permiten la disipación del oxígeno con mayor facilidad.

La desaeración es también eficiente para la eliminación de otros gases disueltos y todos los sistemas modernos de vapor utilizan algunos de entre varios tipos de desaeradores. Además de la desaeración, se utilizan productos químicos, tales como sulfito de sodio, que se combina con el oxígeno y se introduce al calentador con una bomba de alimentación de productos químicos. A las presiones más altas del calentador, el sulfito de sodio es menos conveniente por el aumento de los sólidos disueltos producidos - por el sulfato de sodio que es el producto final y la descomposición del dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno, que contribuyen a la corrosión. La hidracina elimina el oxígeno disuelto sin incrementar las cantidades de sólidos disueltos a presiones elevadas, con la reacción siguiente:



Se deben evitar las cantidades elevadas de residuos de hidracina en el agua para prevenir que el producto de descomposición, el amoníaco, ataque a las aleaciones a base de cobre que haya en el sistema.

El agua reutilizada con acidez elevada se debe tratar para mantener un ambiente alcalino adecuado, en donde el pH esté entre 10.5 y 11.0. La alcalinidad por bicarbonato en el calentador --

puede hidrolizarse bajo la acción del calor y liberar dióxido de carbono, que se transportará junto con el vapor para formar un ácido carbónico corrosivo con los condensados en las tuberías de condensación o los intercambiadores de calor del proceso. Las prácticas actuales exigen el tratamiento del agua para evitar la corrosión en el sistema de recirculación mediante aminas neutralizantes o formadoras de películas. Las aminas neutralizantes se combinan con el  $\text{CO}_2$  y neutralizan su acidez. Las aminas formadoras de películas no se combinan químicamente, sino que actúan al formar una película impermeable y no humedecible en las superficies metálicas, que actúan como barrera de protección entre el metal y los condensados, evitando los ataques del oxígeno y el dióxido de carbono.

Los sistemas de vapor en los que la masa de condensado no se puede recuperar, se ven sujetos con mayor frecuencia a dificultades provocadas por las sustancias que forman incrustación. El agua agregada tiene invariablemente constituyentes que forman escamas cuando se encuentran presentes en el líquido en concentraciones que sobrepasan su solubilidad. Algunos materiales tienen una disminución de su solubilidad al elevarse la temperatura y las escamas que se depositan comúnmente en los calentadores pertenecen a esta clase. El tratamiento químico en el sistema de precalentamiento es adecuado para reducir la mayoría de las sustancias formadoras de escamas a un sedimento blando, que se retira antes de que entre al calentador, mientras que la sedimentación formada -

por el tratamiento interno puede acumularse en zonas muertas del calentador y eliminarse por las tuberías de purga.

El agua recuperada del calentador de proceso provoca la formación de espuma dentro del calentador, por la presencia de materiales orgánicos, inorgánicos o insolubles, cuando existen en cantidad suficientemente grande. El aceite y los productos de descomposición de las materias húmicas y de aguas negras son las causas primordiales de la formación de espumas y esos productos se deben excluir estrictamente de las corrientes de retorno de condensados. El efecto de formación de espumas que tienen esos materiales resulta especialmente notable en presencia de alcalinidad elevadas, y la concentración alcalina del agua de los calentadores se debe limitar por esta razón.

En la tabla (2.7.2) se resumen los límites recomendados para las impurezas en el agua utilizada en calentadores (comúnmente calderas). La purga continua o intermitente del agua de los calentadores, para mantener las concentraciones por debajo de los límites recomendados, es el método más eficiente para evitar la formación de espumas. Cuando la purga da como resultado la pérdida de grandes cantidades de calor en el sistema, gran parte de este calor se puede recuperar haciendo pasar el líquido purgado por intercambiadores de calor, utilizados para calentar aire o agua de alimentación, que devuelve el calor a la unidad.

Las calderas o calentadores modernos requieren agua altamente pu  
rificada. El agua tratada de manera común por el proceso Cal- -  
Carbonato se purifica adicionalmente por intercambio iónico o --  
por tratamiento en caliente con fosfatos para producir agua de -  
alimentación a calderas. Un tratamiento posterior necesario pa-  
ra asegurar una operación satisfactoria de las calderas y del --  
sistema de distribución de vapor, puede incluir:

1. Tratamiento ácido o tratamiento por agentes orgánicos tenso  
activos para evitar depósitos de carbonato de calcio y de --  
fosfato de calcio en las líneas de alimentación de las calde  
ras.
2. Eliminación de sílice para prevenir la formación de incrusta  
ciones de silicato de calcio y de magnesio: La sílice es --  
eliminada por las sales de magnesio que se agregan durante -  
el tratamiento cal-carbonato, en caliente.
3. Eliminación de aceites para evitar depósitos carbonosos y -  
formación de espumas.
4. Desaeeración para eliminar gases corrosivos.

Además del tratamiento inicial como agua de alimentación, el  
agua de calderas puede ser separada continuamente del siste-  
ma para volverse a tratar. El pH se reajusta y el agua se -  
vuelve a tratar en un ablandador por proceso en caliente. Es  
ta agua se retorna entonces a la caldera junto con el conden  
sado y el agua de repuesto.



PRESION lb/in <sup>2</sup> .	PARTES POR MILLON						
	SOLIDOS DISUEL- TOS.	ALCA- LINI- DAD.	DURE- ZA.	SILI- CE.	TUR- BIDEZ.	ACEI TE.	FOSFA TOS - RESI - DUALES
0-300	3500	700	0	100-60	175	7	140
301-450	3000	600	0	60-45	150	7	120
451-600	2500	500	0	45-35	125	7	100
601-750	2000	400	0	35-25	100	7	80
751-900	1500	300	0	25-15	75	7	60
901-1000	1250	250	0	15-12	63	7	50
1001-1500	1000	200	0	12-2	50	7	40

Tabla (2.7.2) Límites recomendados de impurezas en el agua utilizada en calderas.

## 2.8 ASPECTOS GENERALES DE ELECTRICIDAD.<sup>38.41</sup>

La electricidad es una forma de energía que se puede usar como medio de calentamiento empleando resistencias o cintas calefactoras.

La electricidad se produce por partículas muy pequeñas llamadas electrones y protones. Estas partículas son demasiado pequeñas para verlas, pero existen en todos los materiales.

La corriente eléctrica, al fluir a través de un conductor, siempre produce algo de calor. Esto se debe a que cierta parte de energía se gasta en hacer que fluya la corriente y se libera en forma de calor. Puesto que se necesita menor energía para hacer fluir la corriente en los buenos conductores, en ellos se produce menos calor. Un mal conductor, por ejemplo, el Nicrómel, cuando conduce la corriente se calienta mucho. El cobre es aproximadamente 60 veces mejor conductor que el Nicrómel.

Los efectos caloríficos de la electricidad son transmitidos por conductores comúnmente llamados resistencias. Las resistencias son calentadores eléctricos que están construidas en forma similar al bulbo de luz incandescente, excepto que el material usado para el elemento calefactor no necesita brillar con la misma intensidad. Cuando se cierra el interruptor la corriente pasa a través del elemento calefactor, aumentando su temperatura. Generalmente se puede observar un brillo rojo suave y se siente que se calienta el aire circundante. El elemento calefactor, que generalmente es alambre Nicrómel, está sostenido por pie-

zas aislantes.

En electricidad, los materiales se clasifican por su resistencia al flujo de electrones o flujo de corriente.

Los buenos conductores tienen baja resistencia y los buenos aisladores (malos conductores) tienen alta resistencia al flujo de la corriente. La resistencia de un alambre se determina por medio del tipo de material y las dimensiones del alambre. Cuanto mayor sea el área transversal del alambre, menor será su resistencia. Cuanto más largo sea, mayor será su resistencia. En otras palabras, la resistencia de un alambre es inversamente proporcional a su área transversal y directamente proporcional a su longitud. Esto es:

$$R = \rho L / A$$

Donde:

R = Resistencia del conductor en OHMS. ( $\Omega$ ).

$\rho$  = Resistencia específica en  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ .

L = Longitud del conductor en m.

A = Área transversal en  $\text{mm}^2$ .

Puesto que la tensión produce el flujo de corriente en un circuito cerrado y la resistencia se opone al flujo de ella, existe una relación entre tensión, corriente y resistencia. Esta relación es la llamada ley de OHM, la cual se puede resumir como sigue: en un circuito de corriente continua, la corriente es direc

tamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia. Matemáticamente se expresa en la siguiente forma:

$$I = E/R$$

Donde:

I = Corriente en Amperes

E = Tensión en Volts

R = Resistencia en Ohms

Para que exista un flujo de corriente es necesaria una fuente de energía, el objeto de esta es suministrar energía eléctrica a la carga. La carga aprovecha esta energía para efectuar trabajo. - Al hacer trabajo, la carga consume energía. La cantidad de trabajo efectuado por una carga depende de la cantidad de energía - alimentada y de la rapidez con que esta la utiliza. El término - potencia se usa para referirse a la rapidez con que una carga -- puede efectuar un trabajo. La potencia es la cantidad de trabajo que una carga puede llevar a cabo en cierta cantidad estándar de tiempo, generalmente un segundo. El trabajo efectuado en un - circuito eléctrico puede ser trabajo útil o desperdiciado. En - ambos casos, la rapidez con que se efectúa el trabajo se mide en potencia. El calentamiento de los conductores de conexión o resistores en un circuito es trabajo desperdiciado, ya que el calor no desempeña ninguna función útil. Cuando se emplea potencia para un trabajo desperdiciado se dice que la potencia se di-

sipa.

La ecuación para la potencia es:

$$P = E I$$

Donde:

P = Potencia consumida en Watts.

E = Diferencia de Potencial en Volts.

I = Corriente en Amperes.

Si esta ecuación se pone en función de la tensión y la resistencia se tiene que:

De la ley de Ohm:  $I = E/R$  o  $E = I R$  y sustituyendo esta en la expresión para la potencia se obtiene:

$$P = I R I = I^2 R$$

Las pérdidas más comunes de potencia en un circuito eléctrico -- son las que ocurren en forma de calor cuando una corriente fluye a través de una resistencia. La relación exacta entre las tres cantidades: Calor, corriente y resistencia, la representa la ecuación de potencia:

$$P = I^2 R$$

P es la rapidez con que se produce calor.

Se puede observar en la ecuación, que puede reducirse o aumentarse la cantidad de calor producido, reduciendo o aumentando ya -

sea la corriente o la resistencia.

El calentamiento  $I^2R$  (como se llama con frecuencia) ocurre tanto en los conductores del circuito como en los resistores. Suele ser muy pequeño en los conductores, ya que tanto los materiales como los calibres de los conductores se usan de manera que tengan valores de resistencia pequeña. En un resistor, es poco lo que puede hacerse en relación con el calentamiento  $I^2R$ , ya que la corriente del circuito, así como el valor de resistencia del resistor, generalmente no se puede cambiar sin afectar la operación del circuito.

#### 2.8.1 Calentamiento Eléctrico.

El calentamiento eléctrico es la conversión de la energía eléctrica en calor. Esto se puede lograr mediante dos métodos básicos: 1.- Calentamiento con resistencia, el flujo de corriente -- que pasa por un conductor (el efecto  $I^2R$ ) y 2.- Calentamiento -- por inducción de conductores en la que la corriente que produce el efecto  $I^2R$  se induce mediante un campo magnético.

Para contrarrestar el costo relativamente más alto de la energía eléctrica en comparación con otras energías de combustibles, se encuentran las muchas ventajas que se asocian al calentamiento eléctrico como son:

- a) Facilidad para obtener temperaturas elevadas.
- b) Seguridad y conveniencia.

- c) Limpieza a falta de subproductos de la combustión.
- d) Respuesta rápida y la uniformidad de temperatura que se puede controlar de manera precisa.
- e) Falta de condiciones oxidantes y la facilidad para producir calor cuando sea necesario.

La transferencia de calor se puede hacer por conducción, convección, radiación o la producción de calor dentro del material mismo.

Calentamiento Mediante un Resistor. Se refiere comúnmente a la producción de calor mediante la aplicación directa de un voltaje a un resistor, tiene una gran variedad de usos que van de las estufas eléctricas domésticas a las grandes aplicaciones industriales complejas. La eficiencia de la conversión de la energía eléctrica en calor por este método es del 100%, lo que quiere decir que toda la energía eléctrica proporcionada al resistor del calefactor o calentador se convierte en energía calorífica. En el calentamiento directo de un resistor el voltaje se aplica directamente a la carga.

En el calentamiento indirecto del resistor, que es el método más común, no toda la energía convertida se proporciona a la carga, sino donde rodean al resistor calefactor sistemas bien aislados térmicamente. La razón del calor proporcionado a la carga, al calor convertido tiene probabilidades de acercarse mucho a la --

unidad. Esta elevada eficiencia generalmente permite que la calefacción mediante un resistor sea competitiva con otros métodos de calentamiento que utilizan la quema de combustible.

Los calentadores resistivos son diversos en sus modos de funcionamiento y se pueden utilizar en ambientes a alta presión o en alto vacío. Por lo común, el material del resistor es una aleación de Níquel y Cromo que tiene la ventaja de poseer un punto elevado de fusión y una elevada resistencia a la oxidación y la formación de escamas. Esta aleación puede soportar una temperatura operacional máxima aproximada de 1800°F. Para temperaturas por encima de este valor, los resistores se hacen en grafito, molibdeno y carburo de silicio. La temperatura a la que funciona un resistor determina primordialmente su vida útil. Las formas rectangulares para la sección de corte transversal de un resistor dan una mayor superficie para la transferencia de calor que la forma redonda y, por ende, se utiliza con frecuencia la forma de resistores de banda o cinta, sobre todo en las temperaturas más altas.

Cuando la transferencia de calor se hace por radiación o convección, se utiliza una cámara de calefacción o encierro. La cámara sirve para controlar la distribución del calor, incrementa la eficiencia general y confirma la carga de calefacción hacia una atmósfera dada.



Calentamiento por Inducción. Es un medio para el calentamiento de objetos que conducen electricidad. En algunos casos, es el único método práctico para proporcionar calor a materiales de trabajo. Es limpio y rápido, y se presta al ciclaje automático. No se requiere ningún contacto entre la carga de trabajo y la fuente de calor y este se puede limitar a áreas localizadas o a una región superficial de la carga. El calentamiento por inducción se produce cuando se sumergen materiales conductores eléctricos, tales como piezas de trabajo metálicas, en un campo magnético alterno. Este campo se suele producir mediante una bobina eléctrica activada por una fuente adecuada de energía eléctrica de corriente alterna. El campo magnético por corriente alterna induce voltajes en el material conductor que produce corriente circulante. La magnitud de las corrientes inducidas se determinan por la magnitud efectiva del voltaje inducido y la impedancia de la pieza de trabajo. El flujo de la corriente inducida genera pérdidas de  $I^2R$  y calor en la pieza de trabajo. Se produce calor adicional en piezas magnéticas, debido a las pérdidas por histéresis: este calor es por lo común pequeño, pero en algunos casos en que se incluyen campos magnéticos poderosos, el calor resultante de las pérdidas por histéresis puede llegar a ser importante.

El calentamiento por inducción es eficiente y práctico, si se satisfacen ciertas relaciones básicas que incluyen la frecuencia -

del campo magnético y las propiedades de la pieza de trabajo. -- Aunque las relaciones no son muy críticas, se deben satisfacer, hasta que se produzca una cantidad adecuada de efecto superficial en la pieza de trabajo. El efecto superficial es un fenómeno por el que las corrientes que fluyen en la pieza tienden a -- ser más intensas en la superficie, mientras que las corrientes -- en el centro se aproximan a cero. Como consecuencia de esta distribución, las corrientes producen un índice mayor de calentamiento cerca de la superficie. El efecto superficial se encuentra presente en todas las aplicaciones adecuadas de calefacción por inducción.

Para lograr un calentamiento por inducción eficiente, tiene que existir una razón apropiada entre el diámetro de la pieza de trabajo (o el espesor) y la profundidad de referencia. Para un diámetro dado de la pieza, cuanto más delgadas sean las capas portadoras de corriente, tanto mayor será el índice de generación de calor en la superficie, cuando los demás factores permanezcan -- constantes. Si se pasan por alto los efectos menores, la profundidad efectiva de la capa portadora de corriente depende de la -- frecuencia de la corriente alterna generadora del campo magnético, la resistencia eléctrica y la permeabilidad magnética de la pieza. La frecuencia es el único de esos factores que se pueden manipular con facilidad.

El índice de generación de calor mediante la calefacción por in-

ducción es proporcional a los amperes-vuelta al cuadrado de la bobina. La resistividad eléctrica de la pieza de trabajo rige el índice de generación de calor en ella mediante  $I^2R$ . En una carga magnética, se desarrollan también pérdidas por histéresis que son despreciables en comparación con las pérdidas por  $I^2R$ , a menos que se encuentren presentes campos excepcionalmente fuertes. Al calentar una carga no magnética de baja resistividad, se deben utilizar corrientes elevadas en la bobina de trabajo para lograr índices elevados de calentamiento. Por tanto, las pérdidas en la bobina tienden a ser altas y la eficiencia baja, cuando se calienta una pieza de trabajo de baja resistividad.

## 2.9 AISLAMIENTO TERMICO.<sup>39,42,47</sup>

El aislamiento térmico se puede definir mejor por el índice al que conduce el calor en comparación con los metales. Por ejemplo, el acero -- conduce el calor a un índice 600 veces mayor que un material aislador -- típico.

Los materiales o las combinaciones de materiales que tienen bolsas de -- aire o llenas de gas, o bien, espacios vacíos que retrasan la transfe-- rencia de calor con una eficiencia razonable, en condiciones ordinarias, se pueden considerar como aisladores térmicos. Estos materiales pueden ser de partículas o fibrosos (o de los dos tipos a la vez), con aglutina-- dores o sin ellos, o pueden ser estructurales, como las superficies múl-- tiples de reflexión de calor, que poseen espacios huecos, llenos de ai-- re o gas.

El aislamiento térmico propiamente aplicado, asegura una operación efec-- tiva en la línea de proceso y conserva el calor, con los beneficios eco-- nómicos que ello implica. Para una situación dada, existe siempre una amplia variedad de materiales aislantes y a cada tipo se le debe dar -- una consideración cuidadosa para poder hacer una decisión inteligente.

Los materiales básicos para los aislantes térmicos pueden ser:

- a) Materiales minerales fibrosos o celulares, como el asbesto, el vi-- drio, el sílice, las rocas o las escorias.
- b) Materiales orgánicos fibrosos o celulares, como la caña, el algodón, el caucho, la madera, la corteza del árbol y el corcho.

- c) Plásticos orgánicos celulares, como el poliestireno o el poliuretano.
- d) Metales que reflejan el calor.

Las formas físicas más comunes de los tipos de aislamientos industriales y de la construcción son:

**De Relleno Suelto y Cemento.** El aislamiento de relleno suelto consiste en polvos, gránulos o nódulos que se pueden vertir o inyectar mediante soplado a paredes huecas u otros espacios. El cemento aislador es un material suelto que, cuando se mezcla con agua para obtener plasticidad o adhesividad, se puede aplicar con cuchara sobre una superficie y dejar que seque para que sirva como aislante. Algunos tipos de cementos se pueden rociar sobre el lugar en que deben ir. Tanto el cemento como el relleno suelto son especialmente apropiados para superficies irregulares y no uniformes.

**Flexibles y Semirígidos.** Se pueden obtener materiales con grados variables de compresibilidad y flexibilidad, como aislantes de manta, bloques fibrosos o filtros, tanto orgánicos como inorgánicos (con aglutinadores o sin ellos), en láminas y rodillos de muchos tipos y variedades. Las cubiertas y las caras se pueden sujetar a uno o a los dos lados y servir como: refuerzos, barreras de protección contra el vapor, superficies de reflexión o acabados superficiales. Estas cubiertas incluyen combinaciones de películas metálicas o plástico y papel, malla de alambre o tiras metálicas. Los aisladores se proporcionan en una gran variedad de tamaño y espesores estándar que facilitan su manejo.

Rígidos. Existen en dimensiones rectangulares denominadas bloques, placas o láminas, preconformadas durante la fabricación en espesores, anchuras o longitudes estándar. Se pueden encontrar los aisladores para tuberías y superficies curvas en segmentos o secciones medias en los que radios de curvatura se ajustan a los tamaños estándar de las tuberías.

De Reflexión. Se dispone de material de reflexión en láminas y rodillos de construcción de una o varias capas y en formas premoldeadas con espacios de aire integrados.

Moldeados en el Sitio. Estos materiales existen como componentes líquidos que se pueden vertir o rociar en el sitio para formar espumas aisladoras rígidas o semirígidas. También se pueden rociar en el sitio materiales fibrosos mezclados con aglutinantes líquidos.

Los materiales auxiliares para el aislamiento térmico incluyen sujetadores, tanto mecánicos como adhesivos; acabados, como forros y caras rectificadas, que pueden servir como protección o barrera contra el vapor; recubrimientos contra el tiempo y el vapor; adhesivos retardados, selladores, membranas y compuestos de protección.

Propiedades Térmicas de los Aislantes. La capacidad de un material para retrasar el flujo de calor se expresa mediante su conductividad térmica (para espesores unitarios) o la conductancia (para un espesor específico). Por tanto, los aisladores térmicos se caracterizan por sus ba

jos valores de conductividad o conductancia térmica. Otras propiedades térmicas que pueden ser importantes incluyen al calor específico, la capacidad calorífica (calor específico por densidad), la difusividad térmica (conductividad térmica entre capacidad calorífica) y la resistencia a las temperaturas. La difusividad se hace importante en las aplicaciones de estados no estacionarios, donde la temperatura varía con el tiempo.

CAPITULO III

TRAZADO DE VAPOR



### 3.1 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE TUBERIAS.<sup>46</sup>

Como se mencionó anteriormente, el trazado de calor es un término usado para indicar el calor que hay que adicionar o sustraer de una tubería - de proceso para mantener una temperatura adecuada del fluido dentro de ella.

Para grandes diferencias de temperatura entre el fluido de proceso y el aire ambiente, se requieren grandes y costosos espesores de aislante -- con el fin de reducir las pérdidas de calor a un mínimo aceptable. Una forma alternativa de mantener la temperatura adecuada de un fluido de proceso en una tubería es suministrando calor para balancear las pérdidas del mismo. El sistema usado para suministrar calor se divide convenientemente en sistemas de calentamiento con fluidos y el eléctrico.- La subdivisión de estos sistemas se muestra a continuación en la figura (3.1.1).

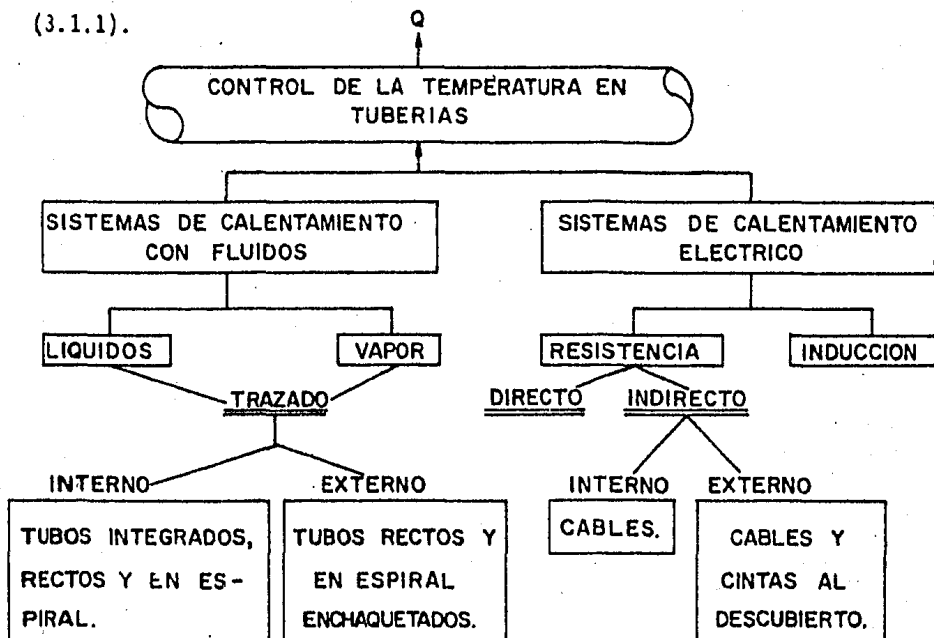


FIG. 3.1.1 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO PARA MANTENER LA TEMPERATURA EN LA TUBERIA.

Los sistemas de calentamiento de tuberías generalmente no son usados para aumentar la temperatura del fluido de proceso dentro de la tubería, sino simplemente para mantenerla constante. Por ejemplo, cuando el fluido de proceso sale de un cambiador de calor y se quiere mantener a la temperatura a la que sale, al viajar por la tubería, va perdiendo calor por lo que es necesario adicionar calor para mantener la temperatura deseada. En casos particulares, suelen utilizarse los sistemas de calentamiento para aumentar la temperatura del fluido de proceso.

Los sistemas de calentamiento con fluidos pueden ser divididos en sistemas líquidos y vapores. Algunos líquidos comúnmente usados son: agua caliente, aceites minerales y líquidos orgánicos (aceites de calentamiento). Estos líquidos deben ser bombeados con una proporción elevada para satisfacer el calentamiento de una carga dada, asegurando un calentamiento uniforme caracterizado por un razonable coeficiente de transferencia de calor. El fluido más comúnmente usado es el vapor de agua. Se usan también, algunos vapores orgánicos.

En sistemas líquidos, el calor transferido es calor sensible. El líquido bombeado más rápidamente a través del sistema, ocasiona un cambio mínimo en la temperatura sobre la superficie de transferencia y es más uniforme al calentamiento.

Por lo que respecta al vapor, el calor transferido es del tipo latente, debido a que la transferencia de calor se efectúa a la temperatura de saturación, por lo que la superficie de transferencia de calor puede --

ser mantenida a una temperatura más uniforme. Aunque estos dos métodos de calentamiento son bastante diferentes, el mismo equipo es usado para ambos.

Los sistemas de calentamiento con fluidos son simples en su operación - ya que cualquier parte de la tubería puede ser bloqueada con válvulas - cuando se requiera. Sin embargo, existe una posibilidad de que el fluido caliente conducido por el trazado, contamine al producto debido a -- averías en el sistema de trazado. Además, el control de la temperatura es pobre debido a la gran capacidad calorífica del fluido caliente.

Los líquidos calientes o vapores usados para el calentamiento de tube-- rías, pueden ser instalados mediante un trazado, dentro o fuera de la - tubería.

El calentamiento eléctrico es una operación limpia, ya que aquí no existe intercambio de calor de un fluido con otro. Un obstáculo eléctrico aparece solo si el sistema no es instalado adecuadamente. La temperatura puede controlarse rápidamente usando un termostato on-off. Así, la-energía solo es usada cuando es necesaria. Normalmente el calentamiento eléctrico es empleado cuando el vapor de que se dispone, no se encuen-- tra a la temperatura requerida. El calentamientr eléctrico es ideal -- para las líneas de gran distancia ya que el suministro de electricidad- se encuentra frecuentemente disponible a lo largo de la línea.

Los sistemas de calentamiento de tuberías son útiles en muchas situacio

nes, como son:

1. Cuando la temperatura ambiente este por abajo del punto de congelación del líquido conducido por la tubería. Algunos ejemplos de líneas que manejen líquidos que requieren un trazado de calor son: -- ácido fosfórico, ácido acético glacial, ácido benzóico, naftaleno, anhídrido ftálico, sorbitol, paraxileno, etc. En resumen, cualquier sistema de calentamiento previene la solidificación de líquidos con alto punto de congelación; como el anhídrido ftálico que so lidifica a 268°F.
2. Cuando los líquidos sean altamente viscosos a temperaturas arriba de la ambiente. Algunos ejemplos son: aceites crudos, aceites -- combustibles, polímeros, ceras, licores de sosa cáustica, etc. Es decir, un sistema de calentamiento, mantiene los fluidos de proceso a viscosidades adecuadas dentro de la tubería.
3. Cuando las líneas que conduzcan gas tengan un punto de rocío arriba de la temperatura ambiente y la condensación del gas sea inconveniente. Algunos ejemplos son: gases combustibles de refinería -- (cuando el líquido causa molestias en el quemador), gases naturales que contienen humedad (pueden congelar las válvulas de control y da ñar a compresores), ácido sulfhídrico y vapor de agua (causan corro sión al condensar). Puntualizando, cualquier sistema de calentamiento ayuda a prevenir la condensación de fluidos que causen problemas en el proceso.
4. Mantienen constante la temperatura que requieran los fluidos de pro

ceso.

5. En algunos casos ayuda al calentamiento de líquidos que necesiten alcanzar rápidamente temperaturas elevadas.

### 3.2 CALENTAMIENTO DE TUBERIAS USANDO VAPOR.<sup>3, 15, 18</sup>

La necesidad de calentamiento de líneas y equipos de proceso, hace posible la aplicación de los distintos tipos y métodos de calentamiento, los cuales se conocen con el nombre de trazados. Un trazado de vapor son líneas de calentamiento por las cuales circula vapor de agua, que avanza - junto con la tubería de proceso, dentro o fuera de ella.

El vapor es ampliamente usado como fluido de calentamiento para trazados en líneas de proceso. Una desventaja principal es la alta presión que - implica cuando se requieren altas temperaturas.

El vapor puede ser empleado tanto en trazados internos como externos. En los sistemas de vapor, del total del calor aproximadamente el 70% es calor latente, el 30% restante es calor sensible.

Aunque existen otros caminos para la calefacción o calentamiento de tuberías y equipo, tal como el calentamiento eléctrico o por enchaquetado, - el trazado de vapor llega a ser más usado que el trazado eléctrico, una razón importante para afirmar esto, es el desarrollo de cementos y plásticos que transfieren calor ya que la alta conductividad térmica y buenas características de estos materiales cuando son usados apropiadamente dan muchas ventajas a los sistemas de trazado de vapor como son:

1. Se puede predecir correctamente la transferencia de calor.
2. Rápido calentamiento.
3. Uniformidad en la distribución de temperaturas.

4. Necesidad de bajos diferenciales de temperatura entre la temperatura de la superficie del trazado y la del fluido de proceso.

En el presente trabajo, se le dará prioridad al estudio del trazado de líneas de tuberías ya que para trazados en equipos, se requiere de un estudio individual y específico para cada uno de ellos.

Para la instalación de un trazado de vapor se necesitan dos líneas adicionales, un cabezal de vapor y un cabezal de retorno de condensados. Esto se muestra en la figura (3.2.1).

Se pueden usar chaquetas de vapor, pero debido a los altos costos, estas solo son empleadas para situaciones especiales en las que se involucre el calentamiento de grandes cargas.

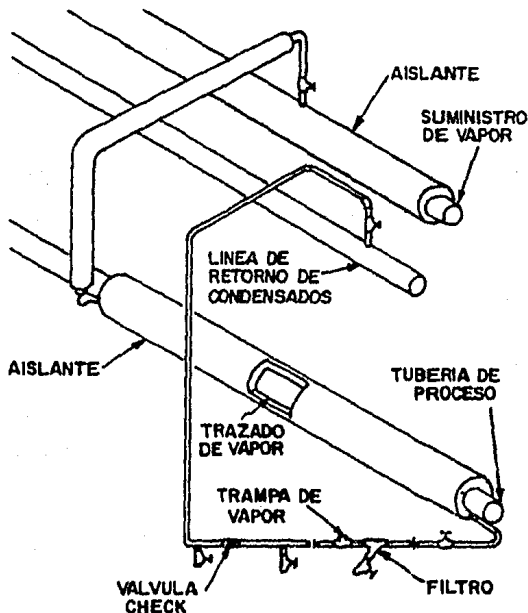


FIG. 3. 2.1 SISTEMA TÍPICO DE TRAZADO DE VAPOR DE TIPO EXTERNO.

### 3.3 TIPOS DE TRAZADO DE VAPOR.<sup>46,47</sup>

Existen distintos métodos de trazado de vapor como son:

1. Externo.
  - a. Con un cemento que transfiera calor.
  - b. Con convección de aire.
2. Enchaquetado con tubería externa.
3. Interno

Estos métodos se observan en la figura (3.3.1)

La selección de un método particular de trazado depende de los siguientes factores:

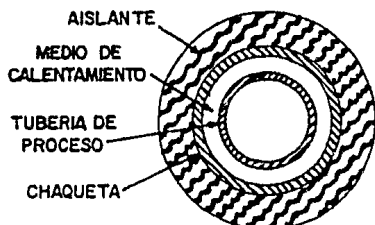
- a. Características de los fluidos de proceso en la tubería.
- b. Carga de calor.
- c. Fluido de Calentamiento.
- d. Geometría de la tubería; número de vueltas, válvulas, accesorios, - etc.
- e. Si la tubería va a ser instalada o ya existe.

Los métodos más comúnmente empleados son del tipo externo unido o rebordado con un cemento que transfiere calor y el trazado interno, por lo que se profundizará en estos dos métodos.

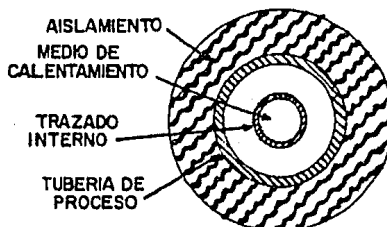
#### 3.3.1 Trazado Externo.

Se realiza por corrida de tubo flexible de cobre o tubo de acero

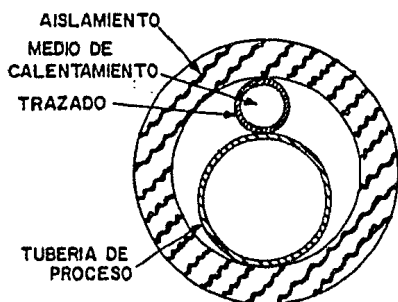




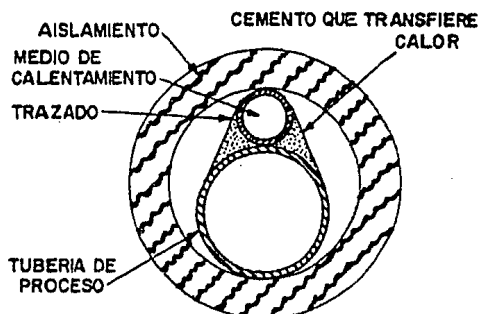
ENCHAQUETADO CON  
TUBERIA EXTERNA



TRAZADO INTERNO



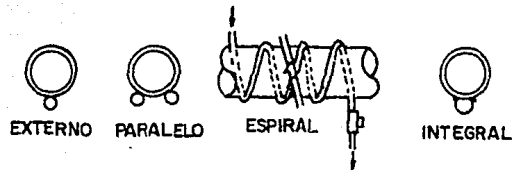
TRAZADO EXTERNO CON  
CONVECCION DE AIRE.



TRAZADO EXTERNO  
BORDEADO CON CEMENTO.

FIG. 3.3.1 METODOS DE TRAZADO DE VAPOR.

a lo largo, paralelo con la línea de proceso. Dependiendo del calor requerido, los trazados pueden ser simples o múltiples y son algunas veces colocados alrededor de la tubería en forma de serpiente. Por su flexibilidad y fácil instalación, éste método es particularmente bueno para el trazado de bridas, accesorios, bombas y otras piezas de forma irregular. Otra forma de trazado externo es integrar el trazado a la tubería de proceso, este es realizado con tubería de aluminio, el paso de vapor es formado como una parte integral de la tubería. Esto se muestra en la figura (3.3.2).



**FIG. 3.3.2 METODOS DE TRAZADO DE VÁPOR EXTERNO.**

Para pequeñas cargas de calor se corre sola una tubería en paralelo a la tubería de proceso y en contacto con esta. En este caso, el trazado usualmente es sujetado con alambre a intervalos de 1 pie, como se muestra en la figura (3.3.3a). Para altas car

gas de calor, se puede utilizar una línea de trazado adicional, como se muestra en la figura (3.3.3b). Para grandes cargas de calor uniforme, el tubo del trazado puede ser doblado alrededor de la tubería como lo muestra la figura (3.3.3c). Para grandes cargas de calor la distancia entre los espirales debe ser pequeña y el pitch debe ser pequeño.

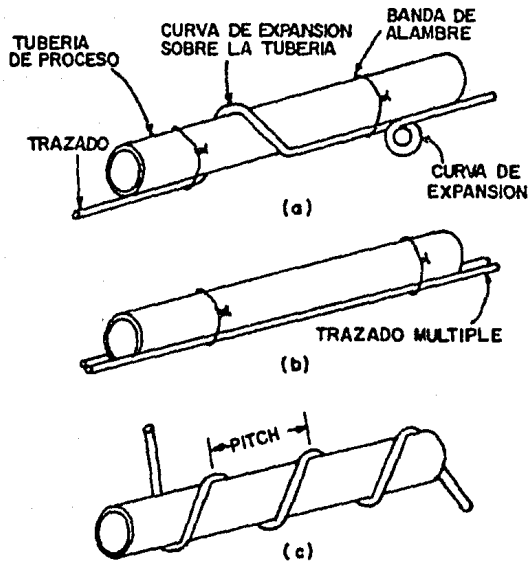


FIG. 3.3.3 TRAZADO EXTERNO USANDO TUBO DE COBRE FLEXIBLE.

El trazado externo complica el acomodo de las líneas de vapor -- fuera de la tubería.

El calor transferido del trazado hacia la tubería es por conducción, convección en el aire y radiación. El área de contacto entre el trazado y la tubería es bastante pequeña.

Las líneas de trazado usualmente son flexibles como el tubo de cobre flexible tipo K. Este es usado aproximadamente arriba de las 150 psig y 360°F. Para grandes presiones y temperaturas se usa tubo de acero cédula 80. El tubo de cobre flexible de 1/2 pulgada de diámetro externo y 0.035 pulgadas de espesor de pared frecuentemente es usado para trazados en tuberías de proceso. -- Cuando el tubo de cobre deba tener inclinación o dobleces dentro de un radio pequeño (como en el trazado de válvulas) este puede tener 0.375 pulgadas de diámetro externo. La longitud de un trazado simple (desde la válvula abastecedora de vapor hasta la trampa) está limitada debido a la caída de presión en el trazado. La trampa de vapor debe tener capacidad para desalojar todo el condensado de la carga calentada. Con un vapor de alta presión o de 100 psig, la longitud de un trazado simple no debe exceder de 200 pies. Si el vapor es de baja presión la longitud recomendada es de 100 pies.

Cuando sea conveniente que la carga se caliente bastante, se puede usar tubo recto de acero al carbón de 1/2", recortándolo a lo largo de la tubería de proceso. El número de trazados depende de la carga de calor, por lo que para grandes diámetros de tubo-

de proceso que manejen líquidos con un alto punto de fusión se - pueden requerir arriba de 10 trazados.

El trazado externo con tubo de cobre flexible, es usado comúnmente en tuberías que tienen numerosas irregularidades, tales como codos, válvulas y otros accesorios. El tubo de cobre se dobla o se enrolla varias veces alrededor del cuerpo principal y el bonete de la válvula para proveer un suministro ininterrumpido de calor a todas las partes de la válvula. Una válvula trazada con tubo de cobre flexible se muestra en la figura (3.3.4). Para tuberías con numerosas válvulas y accesorios, un trazado insuficiente de estas áreas, puede reducir seriamente la capacidad del sistema de trazado para mantener la temperatura deseada. En válvulas y bridas, los trazados son formados dentro de loops que también funcionan como juntas de expansión. Los loops son formados en un plano horizontal, para asegurar el desagüe.

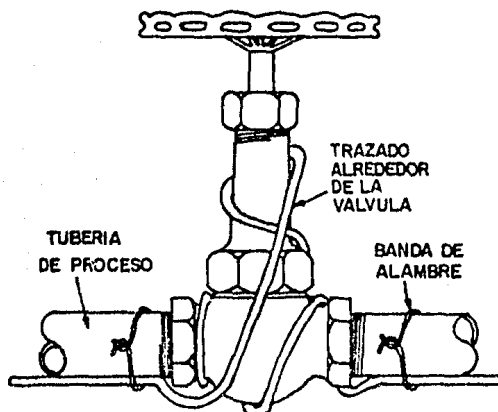


FIG. 3.3.4 VALVULA TRAZADA CON TUBO DE COBRE FLEXIBLE.

Los sistemas de trazado externo tubular tienen muy baja eficiencia. Una gran porción de la energía calorífica usada, llevada por el fluido caliente, es perdida hacia la atmósfera circundante. Algo de este calor es transferido hacia la atmósfera por convección y radiación, elevando la temperatura del aire en la vecindad de la tubería. El decremento resultante en la diferencia de temperaturas que existe entre la superficie de la tubería y la atmósfera, algunas veces reduce las pérdidas de calor de la tubería. Sin embargo, este camino es menos eficiente para la transferencia de calor a través del metal.

El trazado tiende a separarse de la superficie de contacto con la tubería, reduciendo el área de transferencia de calor, de aquí que la eficiencia siempre es menor cuanto más se aleja. Se tienen sitios calientes indeseables en los puntos donde se usan las bandas de alambre para sujetar el trazado.

Para tuberías que transportan fluidos sensibles al calor, los espacios calientes son indeseables. El daño por estos espacios puede ser reducido colocando una banda de fibra de asbesto entre el trazado y la tubería, para cada una de las bandas de alambre.

Existen diversos métodos para incrementar la eficiencia de los sistemas de trazado tubular externo. Los sistemas de trazado de tubería descubierta, son cubiertos con aislante, esto eleva la temperatura del aire atrapado. Aunque poco del calor disponible

es perdido a la atmósfera, la eficiencia es relativamente baja - ya que la transferencia de calor se lleva a cabo más por convección que por conducción. A este método se le conoce a menudo como trazado externo con convección de aire, el cual se muestra en la Figura (3.3.5).

Un defecto inherente al trazado de vapor externo, es el poco contacto entre el trazado y la tubería de proceso, además reduce -- uniformemente el área disponible para la transferencia de calor por conducción. Esta área puede ser incrementada por el uso de cementos que transfieren calor, la franja de cemento junto con - el trazado y la tubería, incrementan el área de transferencia de calor por conducción. La temperatura máxima posible producida - por un trazado con cemento, puede ser en ciertos sistemas, el doble que con trazados sin cementos, bajo las mismas condiciones - de operación. La temperatura máxima puede ser alcanzada de 5 a - 20 veces más rápido con cementos que sin ellos.

La eficiencia del trazado externo con cemento, se incrementa cubriendo el sistema de trazado y la tubería con un aislante. Este tipo de trazado paralelo se ilustra en la Figura (3.3.7).

El flujo de calor en el sistema de convección de aire se lleva a cabo del trazado hacia el espacio de aire, entonces la tubería - de proceso está a una temperatura  $T_{av}$ , la cual puede ser mayor -

que  $T_{av}$  del sistema bordeado térmicamente con cemento para mantener alguna temperatura de proceso  $T_m$ . Ver Figuras (3.3.5) y - - (3.3.6).

En algunos casos, el trazado se enrolla con láminas de aluminio y posteriormente se recubre con algún material aislante. La lámina incrementa la transferencia de calor por radiación. Esto es esencial ya que el espacio entre la tubería y el trazado se encuentra libre de partículas del material de recubrimiento.

La transferencia de calor por conducción, puede ser incrementada soldando el trazado con la tubería de proceso, sin embargo el soldar causa problemas debido a expansiones diferenciales entre la tubería y el trazado.

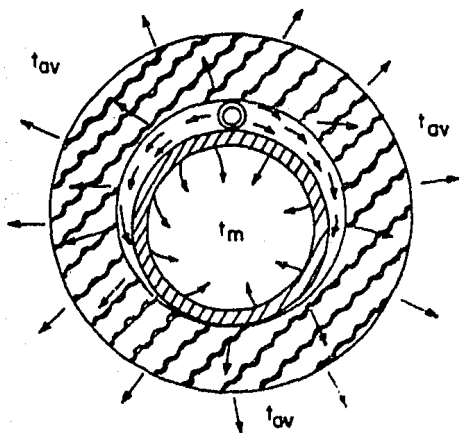


FIG. 3.3.5 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE FLUJO DE CALOR. TRANSFERENCIA DE CALOR CON CONVECCION DE AIRE DEL TRAZADO A LA TUBERIA DE PROCESO



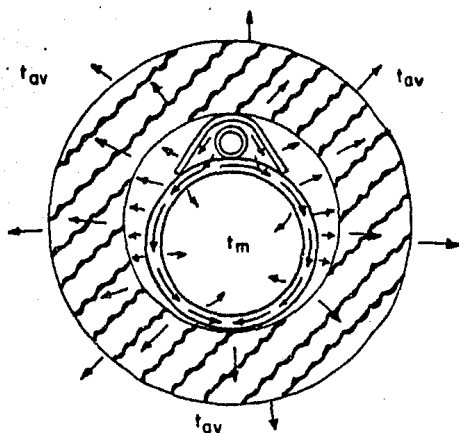


FIG. 3.3.6 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE FLUJO DE CALOR. TRAZADO DE LA TUBERIA DE PROCESO BORDEADA CON CEMENTO DE ALTA CONDUCTIVIDAD.

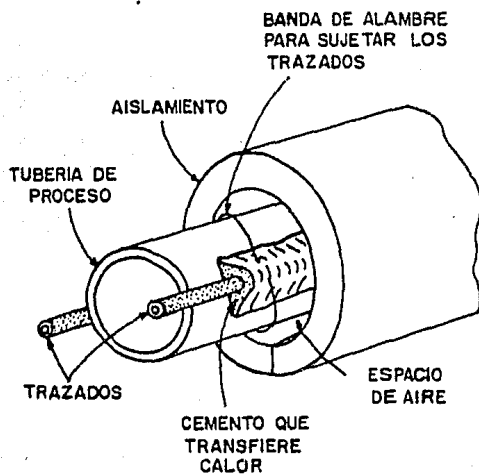


FIG. 3.3.7 TRAZADO EXTERNO USANDO TUBO DE COBRE FLEXIBLE BORDEADO CON CEMENTO Y CUBIERTO CON AISLANTE.

### 3.3.2 Trazado Enchaquetado con Tubería Externa.

El camino más eficiente para trazado externo de una tubería de proceso, es enchaquetar dicha tubería. La línea de proceso pasa a través del centro de una línea de vapor de mayor diámetro, es decir, la línea de proceso se localiza en el lado interno de un tubo más grande y el fluido de calentamiento pasa a través del anillo formado entre las dos tuberías. Esto funciona exactamente como un cambiador de doble tubo concéntrico, ya que el tubo externo es el trazado por el cual circula el fluido de calentamiento, y el tubo interno es la tubería de proceso. Esto se muestra en la figura (3.3.8).

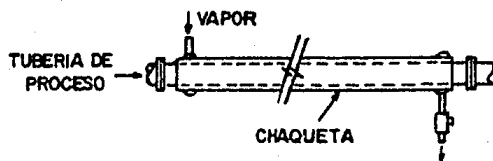


FIG. 3.3.8 ENCHAQUETADO DE UNA TUBERIA DE PROCESO.

Los enchaquetados son más eficientes que un trazado tubular externo, ya que toda la tubería de proceso es rodeada por el fluido de calentamiento. Este tipo de trazado se usa cuando se requiere gran control de la temperatura. Esta es una ventaja cuando la tubería de proceso transporta líquidos sensibles al calor.

Las pérdidas de calor pueden ser reducidas y además incrementar la eficiencia del sistema, cubriendo la chaqueta con aislante.

También se pueden enchaquetar válvulas, tees, codos, bombas, etc.

Existe mayor limpieza con el enchaquetado de accesorios que con el trazado de accesorios usando tubo de cobre flexible. Además, con fluidos de calentamiento a altas presiones y temperaturas, el trazado puede ser con tubo de acero y no de cobre. La tubería de acero no es fácilmente formada o doblada en los accesorios. El enchaquetado de accesorios también es usado en ciertos casos con trazados de tubo de cobre flexible. Un ejemplo de un accesorio enchaquetado es un codo el cual se muestra en la figura - - (3.3.9).

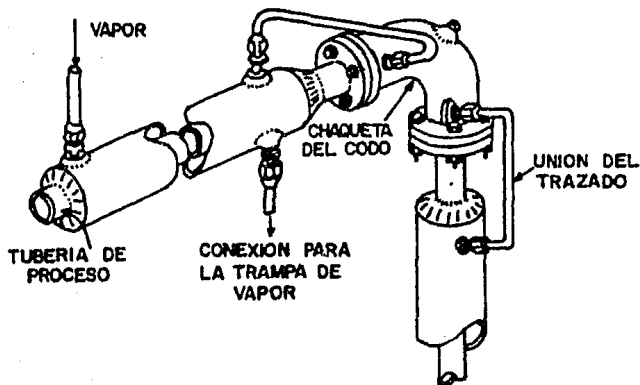


FIG. 3.3.9 ENCHAQUETADO DE UNA TUBERIA DE PROCESO Y UN CODO.

### 3.3.3 Trazado Interno.

El trazado interno difiere del trazado externo en que el trazado se localiza en el lado interno de la tubería de proceso. En contraste con el trazado externo, el trazado interno llega a tener un íntimo contacto con el fluido de proceso. Una función del trazado externo para reducir la diferencia de temperaturas manejadas, es que en breve reduce las pérdidas de calor. Por otro lado, el trazado interno no reduce las pérdidas de calor, sino que simplemente las compensa suministrando calor adicional al fluido de proceso. Cuando el fluido de proceso se encuentra en flujo laminar, la transferencia de calor tiene lugar por conducción a través de la película del fluido de proceso y por convección natural en el volumen del fluido. Cuando el fluido de proceso se encuentra en flujo turbulento, la transferencia de calor del trazado hacia el fluido se lleva a cabo principalmente por convección forzada.

En general, el trazado interno consiste de tubería de acero, recto o en espiral a lo largo de la parte axial de la línea. Un serpentín es provisto sobre el trazado recto para permitir una expansión diferencial con la tubería. Existen muchas restricciones para la limpieza de este tipo de líneas. Ver la Figura (3.3.10).

El elemento principal de un trazado interno es un solo tubo co--

riendo a través del centro de la tubería de proceso. Así que el calor es transferido hacia el fluido de proceso sobre el área externa del trazado. El trazado interno es usualmente más eficiente que el trazado externo bajo las mismas condiciones de operación.

También se pueden usar tubos de cobre de diámetros mayores como trazado interno para proveer una mayor área de transferencia de calor, donde se requieren grandes cargas de calor. Sin embargo, esto reduce la sección transversal disponible para el fluido de proceso. Un método alternativo para proporcionar una mayor área de transferencia de calor es el uso de espirales internas. Se pueden usar espirales junto con un trazado recto de tubo de cobre, esto se muestra en la Figura (3.3.11). Esto previene daños tanto en el trazado como en la tubería de proceso, debido a una expansión diferencial.

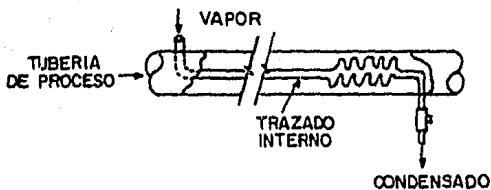
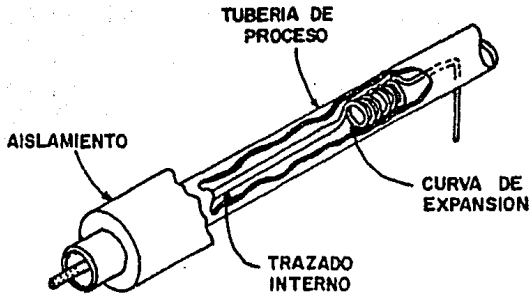


FIG. 3.3.10 TRAZADO DE VAPOR CORRIENDO EN EL INTERIOR DE UNA TUBERIA DE PROCESO.



**FIG. 3.3.II TRAZADO INTERNO CON TUBO DE COBRE FLEXIBLE Y ESPIRALES EXPANDIDOS.**

La importancia del uso de espirales expandidas radica en que el trazado interno es más rígido. Para este fin se pueden usar tubos de acero y tubos de acero inoxidable.

En válvulas y accesorios, el trazado tubular interno puede ser interrumpido y llevado fuera de la tubería de proceso, este puede entonces ser conectado nuevamente al trazado tubular interno o a accesorios encaquetados. El escape de producto se encuentra comúnmente en los puntos donde el trazado tubular interno es llevado fuera de la tubería de proceso. Esto puede ser particularmente dañino cuando la tubería está aislada. El trazado interno no se recomienda para usos en tuberías que lleven fluidos a presiones altas, especialmente gases.

Las tuberías que contienen un trazado tubular interno son difíci

les de limpiar. Los productos incrustados en la tubería de proceso pueden reducir la transferencia de calor.

Otra forma de trazado interno, es utilizando tubería de aluminio aleada, integrada a la tubería de proceso, como lo muestra la figura (3.3.12). Este trazado no restringe el paso del fluido de proceso comparado con el trazado interno tubular. Durante la fabricación, la tubería es formada con canales adicionales. El trazado de aluminio se suelda íntegramente al canal principal usando un electrodo de aluminio. Tees y crucetas se fabrican siguiendo el mismo camino. El soldado directo es el método recomendado para unir íntegramente el trazado con la tubería de proceso. Este método es conveniente para unir válvula y accesorios. Las juntas bridadas requieren de un tubo de salto para conectar los canales del trazado, como se muestra en la figura (3.3.12). Hay disponibilidad de codos trazados en forma integral. Estos son unidos a la sección recta por soldado directo o por bridas. Alternativamente, las secciones rectas de tubería, pueden ser inclinadas o dobladas para formar codos durante la instalación. Una restricción en la construcción de dobleces, es que son formados en rangos de 5 pulg. de radio de curvatura para líneas de 1", y 48" de radio de curvatura para líneas de 8". En el trazado de codos, el doblado puede hacerse en rangos de 5" de radio de curvatura para líneas de 1", y 24" de radio de curvatura para líneas de 8". La figura (3.3.12) muestra los diferentes métodos -

de conexión del trazado de tubería a válvulas y otros accesorios.

La conductividad térmica del aluminio es poco más baja que la del cobre, pero es mucho más grande que la del hierro y acero. A 212°F, la conductividad térmica del aluminio es 119 Btu/hr-ft<sup>2</sup> °F/ft comparada con 218, 30 y 26 Btu/hr ft<sup>2</sup> °F/ft, para cobre, acero fundido y acero respectivamente.

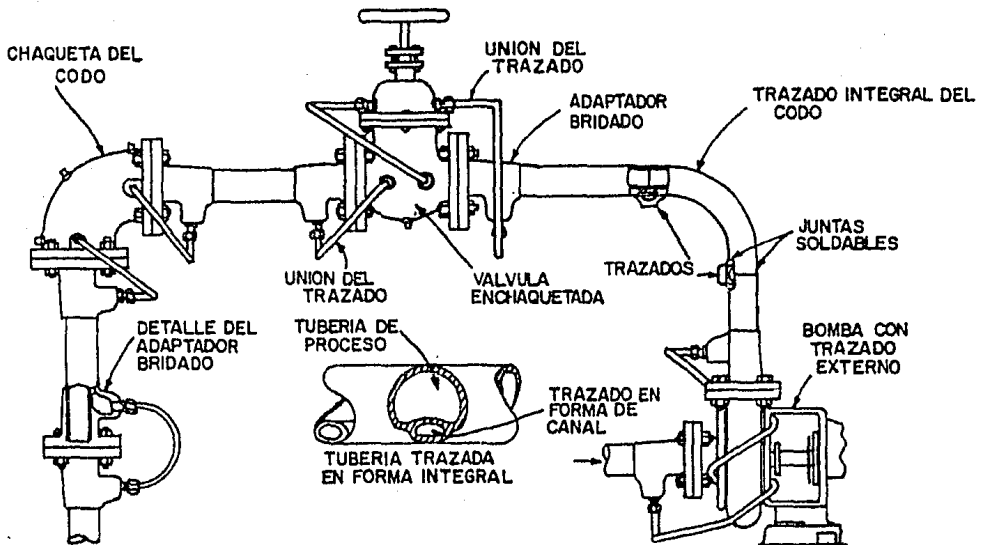


FIG. 3.3.12 USOS DE UN TRAZADO INTEGRAL CON TUBERIA DE ALUMINIO.



El trazado con tubería de aluminio puede ser aislado íntegramente y protegido contra el medio ambiente con alguna chaqueta externa de aluminio. El problema de la corrosión galvánica no existe en este caso.

Tanto en un trazado interno como en un externo, los métodos usados para el trazado de válvulas y accesorios son los mismos.

Finalmente, el procedimiento correcto para diseñar cualquier tipo de trazado, es determinar primero el espesor económico del aislante basado en el costo y en las condiciones de operación involucradas. Después de esto, el sistema de trazado será diseñado con el espesor del aislante propio para el diseño.

El diseño del sistema de trazado depende esencialmente de:

1. Tipo de trazado
2. Material del trazado
3. Número de trazados
4. Medio de calentamiento
5. Tipo de cemento que transfiere calor
6. Fluido de Proceso
7. Longitud ue la tubería de proceso.

### 3.4 COMPONENTES TÍPICOS DE UN SISTEMA DE TRAZADO DE VAPOR.

En general un sistema de trazado de vapor consiste de:

- La tubería de suministro de vapor para el trazado.
- El trazado de vapor individual.
- Las trampas de vapor.
- El sistema de descarga de condensado.

Cada uno de estos componentes es importante para el correcto funcionamiento del sistema y serán cubiertos individualmente. Un sistema típico de trazado de vapor puede ser observado en la Fig. (3.4.1).

#### 3.4.1 El Sistema de Suministro.

En un sistema de suministro de trazado de vapor, generalmente se emplean bajas o medianas presiones de vapor (10 a 200 psig).

Muchas plantas generan vapor de alta presión y proveen vapor de mediana presión para el sistema de trazado de vapor por medio de estaciones de reducción de presión. En algunas aplicaciones el vapor de alta presión se usa directamente para el trazado. La salida de vapor con presiones abajo de 15 psig también se emplea como medio de calentamiento en otros sistemas de trazado.

En operaciones particulares se usan presiones de 125 a 150 psig, ya que es un buen nivel máximo de trabajo para trazados. Presiones elevadas pueden aumentar el costo del sistema.

Las estaciones de reducción de presión consisten de una línea -- primaria que contiene el regulador de presión y una línea de desvío, esta puede ser usada si el regulador requiere reparación o limpieza. Un filtro de canasta se localiza inmediatamente antes del regulador, esto atrapa cualquier impureza o sólido acarreado de la línea de alta presión. La estación de reducción de presión se coloca en el tope de la línea principal de vapor. En el sistema se usan tres válvulas, una a cada lado del regulador de presión y la tercera en la línea de desvío como se muestra en la Fig. (3.4.1), esta última válvula se acostumbra de globo dado -- que tiene alta caída de presión además de tener cierto control -- cuando el regulador no está operando.

La presión obtenida del regulador de presión es baja y puede ser usada para alimentar el cabezal del cual serán tomadas las líneas de trazado de vapor individuales, por lo tanto solo se necesita una estación de reducción de presión para un cierto número de trazados.

Cada línea de trazado deberá tener una válvula de suministro por separado, para que en un momento dado pueda ser aislada sin afectar el resto del sistema. Estas válvulas deberán tener una identificación y además deberán ser localizadas en grupos para facilitar su identificación y mantenimiento. En líneas de trazado largas, se pueden usar válvulas intermedias para permitir un cor

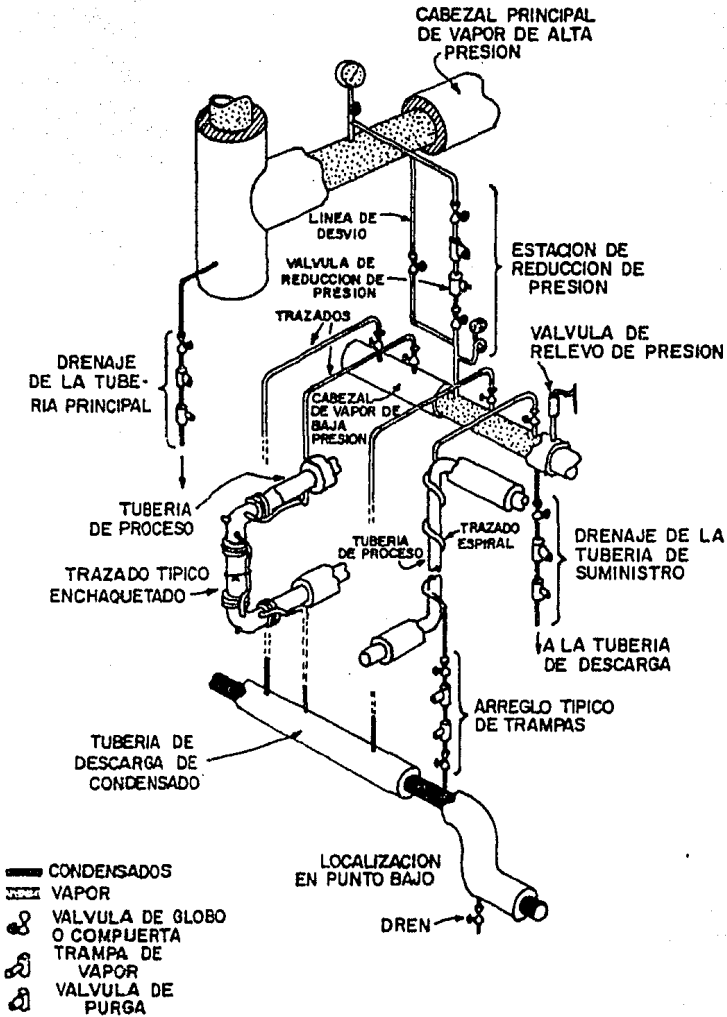


FIG. 3.4.1 COMPONENTES TÍPICOS DE UN SISTEMA DE TRAZADO DE VAPOR.

te parcial para reparaciones.

### 3.4.2 Arreglos Típicos.

Un arreglo de suministro de vapor para un sistema de trazado típico se muestra en la Fig. (3.4.2). Se deberán tomar las precauciones necesarias para drenar el condensado del cabezal principal y líneas de suministro del sistema de trazado.

Las trampas de goteo deberán estar localizadas con los puntos de drenaje natural; como columnas ascendentes de gas, puntos bajos, loops de expansión, delante de cierres o válvulas de reducción y el fin de las líneas. La instalación de las trampas requiere de algún método para evitar la congelación, indicado para el trazado.

Si las trampas empleadas sobre el trazado tienen un rango elevado de presión de operación, la trampa de la tubería de suministro principal puede ser simplificada. La experiencia muestra que los condensados cargados sobre el suministro de trazado de vapor son aceptables dentro del rango de capacidad de esas trampas y el incremento en la capacidad de descarga a altas presiones provee amplia capacidad para la carga a alta presión.

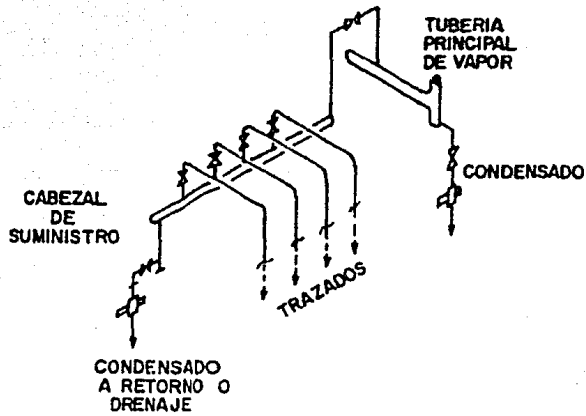
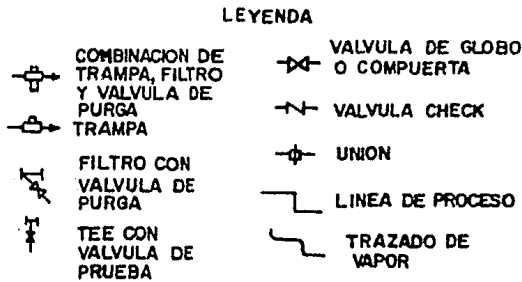


FIG. 3.4.2 SISTEMA DE SUMINISTRO DE TRAZADO DE VAPOR.



El diámetro del cabezal de suministro dependerá del número de -- trazados que serán tomados del mismo.

Una regla común es:

3/4" para 2 o 3 trazados de 1/2"

1" para 4 a 6 trazados de 1/2"

1 1/2" para 7 a 12 trazados de 1/2"

Para asegurar vapor seco para los trazados, las tomas individuales deberán hacerse en el tope del cabezal. Se deberán localizar las válvulas de cierre en secciones convenientes para poder realizar pequeños trabajos de mantenimiento sin interrumpir el funcionamiento del resto del sistema.

### 3.4.3 El Trazado de Vapor.

El sistema de trazado de vapor es generalmente diseñado para suministrar solo la cantidad de calor requerido para mantener el producto a una cierta temperatura o para prevenir congelamiento. Un aumento de la temperatura de los fluidos en tránsito deberá ser considerado como un problema aparte.

El alcance del trazado de vapor requerido para alguna aplicación específica depende de los siguientes factores:

- El tamaño de las líneas de producto.
- El nivel que debe ser mantenido en la temperatura del fluido.
- Las condiciones ambientales.
- La presión del trazado de vapor.

Estos factores deben ser tomados en cuenta para la determinación del tamaño específico, número y configuración del trazado de vapor requerido para asegurar una instalación económica y adecuada.

Algunos ejemplos típicos del tamaño del trazado y número requeri

do para diversos productos de línea son ilustrados en la Tabla = (3.4.1). El trazado es del tipo externo paralelo y el tamaño y número deberán apegarse a las condiciones específicas. Combinaciones de temperaturas producidas, presiones del sistema de trazado y condiciones ambientales hacen que se requieran distintos tamaños.

		Diámetro Nominal de la línea de proceso							
		2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	
Cond.A	Cantidad	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	1 3/4"	
Cond.B	y tamaño	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	3 1/2"	
Cond.C	de traza dos.	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	

Condición A. Temperatura del producto 150°F, presión del vapor-150 psig, temperatura ambiente 60°F, tubería parcialmente protegida contra el viento.

Condición B. Temperatura del producto arriba de 460°F, presión del vapor 140 psig, temperatura ambiente mínima --5°F, velocidad media del viento 17 mph.

Condición C. Para líneas que solo requieren protección contra congelación, donde los materiales no tienen un alto punto de solidificación, las dimensiones especificadas arriba proporcionarán el calentamiento adecuado.

TABLA (3.4.1) Número y Dimensiones Típicas de Trazado de Vapor Externo Paralelo.



#### 3.4.4 Materiales de Trazado de Vapor.

El tubo de cobre flexible se usa en servicios de trazado con presiones de operación abajo de 150 psig y temperaturas de 366°F, arriba de estos límites se usa la cédula -- 80.

El tubo de cobre flexible posee muchas ventajas; es resistente, de costo razonable y fácil de instalar, puede ser colocado alrededor de las líneas y tanques sin requerir uniones especiales, los adaptadores se usan para conectar el tubo de cobre a la tubería de acero del sistema de suministro y facilitar el drenado de condensados.

El tamaño del tubo de cobre y tubería usados para trazado externo paralelo varía de 1/4" de diámetro externo a 1" nominal. Considerando la caída de presión, el tubo usado con más frecuencia varía entre 3/8" y 1/2".

Sobre tubería horizontal el trazado corre a lo largo del lado interno de la línea. Cuando se emplean muchos trazados, deberán estar igualmente espaciados alrededor de la tubería.

En ciertas condiciones se deberá evitar el contacto entre el trazado y el producto de línea, este caso se presenta-

cuando se manejan fluidos corrosivos, la localización interna -- del trazado puede causar descomposición del producto o incrementar el grado de corrosión. Todo un detalle de selección de materiales para trazado de vapor se da en la sección 3.8 ESPECIFICACION GENERAL DE TRAZADO DE VAPOR.

Se deberá procurar la expansión de líneas de trazado. Cuando el tubo de cobre se enrolla para su instalación este deberá tener la holgura suficiente para su expansión.

#### 3.4.5 Aislamiento de Tubería Trazada.

La línea trazada y la línea principal deberán estar protegidas -- por algún aislamiento, este será seleccionado de acuerdo a cada condición particular. La tubería de línea con trazado paralelo- externo requiere de un aislante de tubo de un tamaño tan grande- como la tubería. El aislamiento deberá ser protegido con mate- riales impermeables o un enchaquetado de metal en el exterior de la instalación.

Cuando los requerimientos de calor son pequeños; la tubería, los instrumentos, etc., frecuentemente son colocados con papel de as- besto para reducir la relación de transferencia de calor del tra- zado. La transferencia de calor sobre productos de línea de tra- zado externo, válvulas y bombas puede ser incrementada a través- del uso de un medio sólido de transferencia de calor; como el -- grafito y los cementos que transfieren calor.

Aplicado sobre el tubo de cobre en forma de plastas, este material produce una elevación más rápida de la temperatura en la unidad cubierta y produce temperaturas finales aproximadas a las obtenidas con chaquetas de vapor.

#### 3.4.6 Las Trampas de Vapor.

Una remoción efectiva de condensado y aire es esencial para mantener una temperatura uniforme y una máxima relación de transferencia de calor con trazado de vapor.

Las trampas de vapor para servicios de trazado deberán realizar ambas funciones en forma rápida y eficiente, aún en condiciones adversas.

Algunas características adicionales deseables son; diseño para evitar congelamiento, tamaño pequeño, instalación simple y facilidad de mantenimiento "sobre la línea".

Las trampas más usadas en servicios de trazado de vapor son: termodinámicas, de cubeta invertida y termostáticas. Diversos diseños de trampas termodinámicas están disponibles; de impulso, válvula pistón, tipos disco-válvula y tipo disco-energía cinética.- Una clasificación más completa de trampas de vapor se muestra en la Fig. (3.4.3).

##### 3.4.6.1 Tamaño de Trampas.

Donde la determinación del alcance del trazado de vapor requerido para una aplicación dada puede ser compleja, la selección de trampas para el trazado es relativamente fácil.

Cuando el sistema de trazado se diseña para mantener la temperatura del producto o para prevenir congelamiento, el condensado cargado puede ser estimado con suficiente aproximación para determinar el tamaño de trampas, sobre la base de calor perdido por radiación y convección de la tubería aislada.

Para líneas de trazado externas o internas, la temperatura de la superficie caliente que va a ser aislada puede ser tomada como la temperatura del producto que va a ser mantenida. Para líneas enchaquetadas llenas, se usa la temperatura del trazado de vapor. La tabla (3.4.2) muestra las pérdidas de calor para tubería aislada a condiciones típicas de tubería trazada. Para propósitos de comparación, las pérdidas de calor, (Btu/hr-ft), también se muestran en libras de condensado por hora por 100 ft de tubería. Un promedio de 881-Btu/lb, fue usado como calor latente de vaporización para la conversión. De los datos mostrados en la tabla es evidente que las cargas de condensado son muy pequeñas.

La comparación de estas cargas con la capacidad de descarga de las trampas usadas en el servicio de trazado, muestra que éstas tienen amplia capacidad, incluyendo un factor de seguridad para tolerancia. La tabla (3.4.3) muestra los máximos rangos de descarga continua para algunos tipos representativos de trampas.

#### 3.4.6.2 Instalación de las Trampas.

Todas las trampas cuando su diseño lo permita deberán ser instaladas en línea vertical, Fig. (3.4.4).

Cuando las trampas son instaladas en línea horizontal la tubería debe ser arreglada para drenaje natural y si la trampa no es autodrenable, se deberán hacer algunos arreglos auxiliares para drenar automáticamente el cuerpo y prevenir congelamiento cuando la trampa descarga hacia abajo.

Si se requiere tubería horizontal o ha sido previamente instalada, las trampas termodinámicas deberán ser rotadas  $90^\circ$ , de esta forma la trampa está completamente protegida contra congelamiento.

Cuando la descarga va a un cabezal de retorno se deberá aislar y proveer drenaje cuando el trazado descarga hacia abajo.

Es de práctica común dejar la trampa sin aislamiento, - particularmente los tipos termodinámico y termostático. La pérdida de calor es despreciable y se facilita la -- inspección y el mantenimiento.

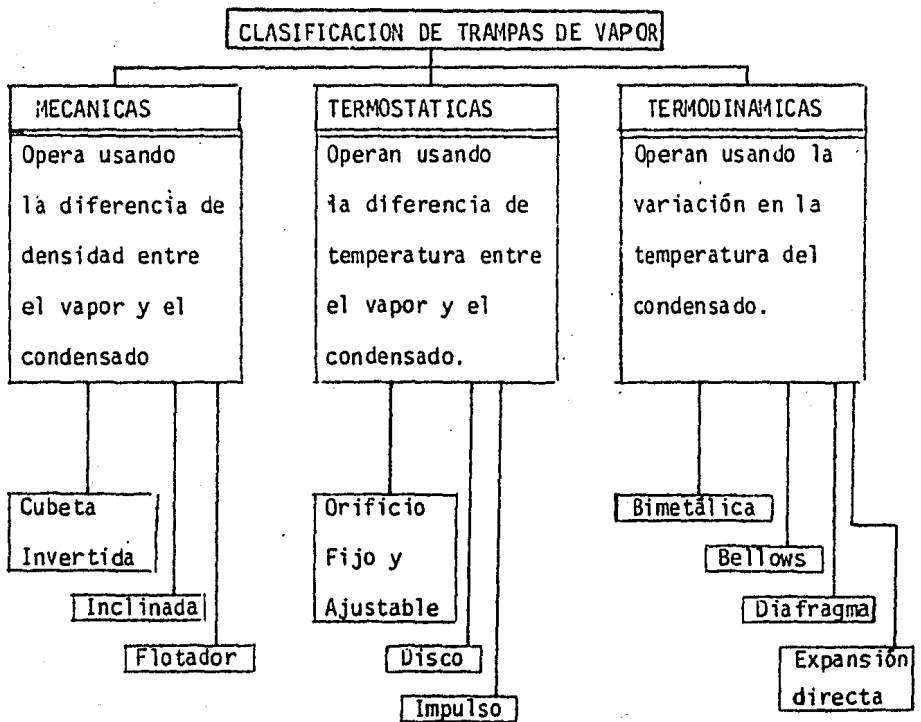


Figura 3.4.3 Clasificación de trampas de vapor.

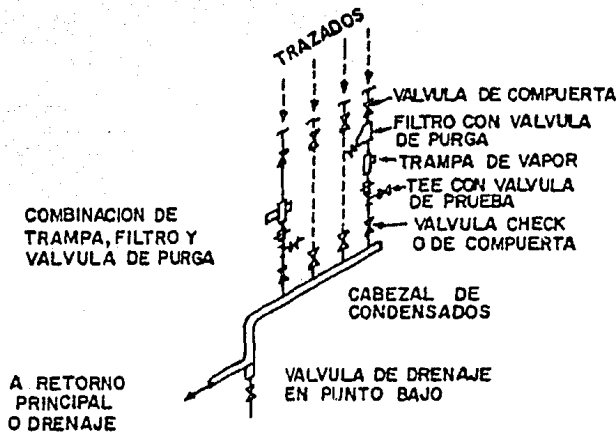


FIG. 3. 4. 4 INSTALACION TIPICA DE TRAMPAS PARA UN SISTEMA DE TRAZADO DE VAPOR.

Temperatura de la línea de proceso.		Diámetro nominal de la línea de Proceso					
		4"	6"	8"	10"	12"	16"
100°F	Btu/hr-ft	37	50	51	64	82	97
	lb/hr/100ft	4.2	5.7	5.8	7.3	9.3	1
200°F	Btu/hr-ft	80	109	112	138	180	212
	lb/hr/100ft	9.1	12	13	16	21	24

Aire ambiente a 0°F, con una velocidad de 20 mph.

Espesor de aislamiento: para tubería de 4" y 6" = 1"

Para tubería de 8" a 16" = 1 1/2"

Tabla (3.4.2) Pérdidas de calor en la superficie aislada, líneas de proceso con trazado de vapor externo.

Trampas de vapor; tamaño y tipo.	Presión de vapor (psig) en la trampa								
	10	15	20	40	60	80	100	125	150
3/8" Impulso	185	220	225	350	410	465	500	550	580
1/2" Impulso	235	285	325	450	525	600	645	695	745
1/2" Cubeta	560	610	690	550	635	690	640	680	570
1/2" Disco	825	1030	1210	1750	2160	2535	2825	3440	3425

Tabla (3.4.3) Máxima capacidad de descarga continua para cuatro tipos de trampas de vapor, lb/hr de condensado.

Es una buena práctica instalar filtros tipo "Y" en líneas verticales u horizontales para proteger las trampas de impurezas metálicas y otros agentes que puedan venir desde el sistema de trazado y en un momento dado perjudicar la trampa. Estos filtros pueden servir también como desvío durante el mantenimiento de la trampa.

Es muy importante planear correctamente la localización y arreglo de válvulas para cada uno de los trazados.

#### 3.4.7 El Sistema de Descarga de Condensado.

La instalación apropiada de trampas de vapor y líneas de descarga, es de los factores más importantes para el correcto funcionamiento de los sistemas de trazado de vapor.

Básicamente cada trazado deberá tener su trampa de vapor. Una -



trampa puede ser usada para drenaje múltiple de trazados paralelos, deben proveerse receptáculos donde el condensado pueda co--lectarse y todos los trazados tengan igual caída de presión. -- Sin embargo la instalación más segura es una trampa para cada -- trazado. Cada línea deberá ser trampeada separadamente, no se -- deberán drenar trazados de muchas líneas con una trampa común.

Si el condensado y algunos gases incondensables no son removidos de la línea de vapor se tendrá como consecuencia una reducción en la transferencia de calor debido principalmente a las siguientes causas:

- 1.- El condensado forma charcos en los puntos bajos del sistema, esto inhibe el flujo de vapor reduciendo la transferencia de calor.
- 2.- El agua condensada es un pésimo conductor de calor, esto se debe a que forma películas que restringen la transferencia de calor.
- 3.- El aire y gases atrapados reducen la presión parcial del vapor además de que el aire tiene una capacidad calorífica -- aproximadamente la mitad que la del vapor. La Tabla (3.4.3) muestra las pérdidas de la temperatura del vapor en mezclas vapor-aire.

	Presión del vapor (psig)				
	10	25	50	75	100
% Aire (volumen)	Temperatura de la mezcla vapor-aire (°F)				
0	240	267	298	320	338
10	236	263	291	313	330
20	228	254	283	305	322
30	221	246	275	296	312

Tabla (3.4.3) Pérdidas de temperatura del vapor en mezclas vapor-aire.

#### 3.4.8 El Sistema de Retorno.

Las líneas de descarga de las trampas y retornos principales deberán ser adecuados para acarrear el condensado y vapor que flashee causando con esto una excesiva caída de presión en las líneas.

Los cabezales para colección de condensado para trampas de trazado agrupadas pueden ser dimensionados como sigue; siempre y cuando no se cuenta con estándares específicos.

Menor a 4 trampas	1" de diámetro
De 5 a 9 trampas	1 1/2" de diámetro
De 10 a 15 trampas	2" de diámetro

### 3.5 DISEÑO DEL TRAZADO DE VAPOR.

El objetivo consiste en establecer una metodología de diseño de trazado de vapor, para lo cual se analizan las siguientes metodologías de cálculo:

- Método de Badger Co.
- Método de Kholi
- Método de Thermon.

#### 3.5.1 Método de Badger Co.<sup>15</sup>

El costo del trazado de vapor puede estar por arriba del 10% del costo total de la tubería, la siguiente aproximación analítica - para el diseño del trazado de vapor elimina el problema del sobrediseño o bajo diseño y proporciona una solución adecuada.

Una solución general puede ser obtenida de los siguientes puntos:

- a) El pitch óptimo del trazado de vapor.
- b) El perfil de temperaturas en la pared. La solución general da el perfil de temperaturas en la pared.
- c) El calor transferido por el fluido de proceso.
- d) El calor transferido por cada trazado.

Los parámetros usados en la solución general son: espesores de pared, conductividad térmica del material, espesor del aislante, coeficientes de transferencia de calor entre la pared y el fluido de proceso, temperatura del proceso, temperatura del vapor y-

temperatura ambiente.

- Teoría y derivación.

El balance de calor a estado estacionario alrededor del elemento diferencial  $dx$  de la sección desarrollada de la pared en la Fig. (3.5.1) está descrita por:

$$-Kt \frac{dt}{dz} - (-Kt \frac{dt}{dz} + d^2T/dx^2 dx) - (h_o(T-T_{amb}) + h_i(T-T_p))z dx = 0 \quad (3.5.1)$$

Si hacemos:  $A = \frac{h_o + h_i}{Kt}$  y  $B = \frac{h_i T_p + h_o T_{amb}}{Kt}$

la ec. (3.5.1) se reduce a:

$$d^2T/dx^2 - AT + B = 0$$

Esta es una ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes para la cual tenemos la siguiente solución general que nos da la distribución de temperaturas en la pared:

$$T = C_1 e^{\sqrt{A} X} + C_2 e^{-\sqrt{A} X} + (B/A) \quad (3.5.2)$$

donde  $C_1$  y  $C_2$  y la distribución actual de temperaturas dependen de las siguientes condiciones a la frontera:

@  $x = 0, T = T_o$

@  $x = L, dT/dx = 0$

sustituyendo las condiciones a la frontera obtenemos la solución de la ecuación (3.5.2)

$$\frac{T - (B/A)}{T_0 - (B/A)} = \frac{e^{\sqrt{A} L \kappa} (1 + e^{2\sqrt{A} L (1 - \kappa)})}{\cosh(\sqrt{A} L)} \quad (3.5.3)$$

donde  $\kappa = x/L$

la Ec. (3.5.3) nos da la temperatura de la pared entre dos trazados paralelos y es graficado en la Fig. (3.5.2) como:

$\frac{T - (B/A)}{T_0 - (B/A)}$  contra  $\sqrt{A} (L)$  para distintos valores de  $\kappa$ .

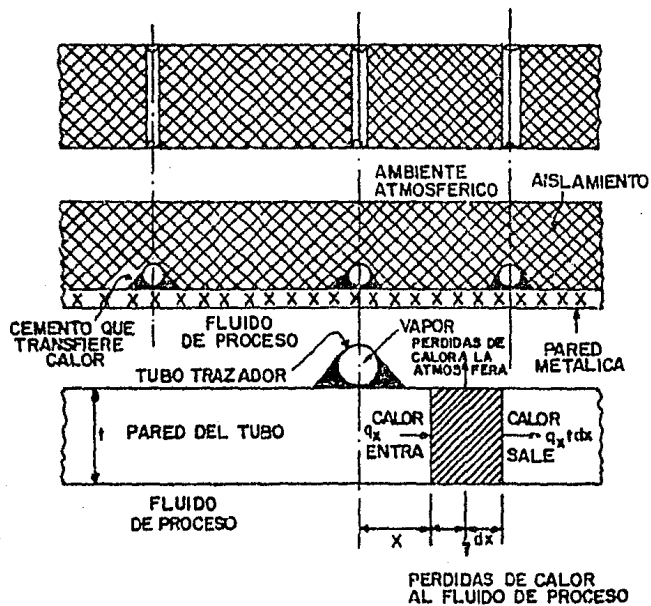


FIG. 3.5.1 SECCION DESARROLLADA DE LA PARED DE UN TUBO CON TRAZADO DE VAPOR.

Para  $\alpha = 1.0$  el punto descrito es la media entre dos trazados. La mínima temperatura en la pared ocurre en ese punto. Cuando la temperatura mínima en la pared es especificada, el máximo pitch,  $2L$ , puede ser calculado. El calor transferido al fluido de proceso, tal y como se muestra en la Fig. (3.5.1) está dado por:

$$Q/Z = 2 \int_0^L (T - T_p) h_i dx \quad (\text{Btu/hr-ft de trazado})$$

Sustituyendo  $T$  de la Ec. (3.5.3) tenemos:

$$Q/Z = 2 \left( \frac{(T_o - (B/A)) h_i}{\sqrt{A}} \right) \times \tan h (\sqrt{A} L) + 2 h_i ((B/A) - T_p) L$$

(Btu/hr-ft de trazado) (3.5.4)

El calor total transferido por el trazado es:

$$Q_T/Z = 2 \int_0^L (T - T_p) h_i dx + 2 \int_0^L (T - T_{amb}) h_o dx$$

$$= 2(h_i + h_o) \sqrt{A} * (T_o - (B/A)) \tan h (\sqrt{A} L)$$

(Btu/hr-ft de trazado) (3.5.5)

#### Nomenclatura

$$A = (h_o + h_i) / K t \quad (\text{ft}^2)$$

$$B = ((h_i T_p) + (h_o T_{amb})) / K t \quad (\text{ft}^2 = ^\circ\text{F})$$

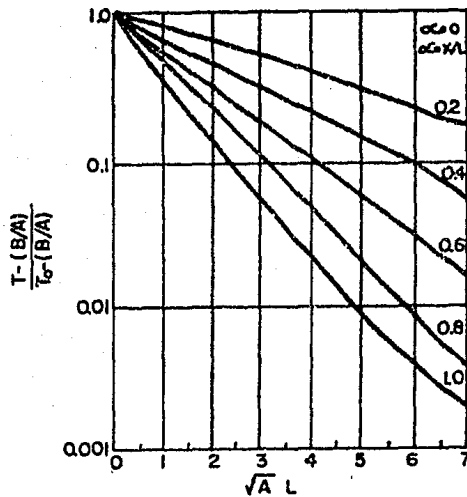


FIG. 3.5.2 DISEÑO DEL TRAZADO DE VAPOR. SOLUCION GRAFICA.

$C_1, C_2$	Constantes
$c_p$	Capacidad calorífica del fluido de proceso, Btu/lb°F
$D$	Diámetro de la tubería, ft
$f$	Factor de fricción Darcy, adimensional
$G$	Masa velocidad del fluido de proceso, lb/hr-ft
$h_{air}$	Coefficiente de transferencia de calor entre el aire ambiente y el aislamiento, Btu/hr-ft <sup>2</sup> °F
$h_i$	Coefficiente de transferencia de calor del fluido de proceso, Btu/hr ft <sup>2</sup> °F
$h_o$	Coefficiente de transferencia de calor entre la pared y el aire ambiente, Btu/hr ft <sup>2</sup> °F
$k$	Conductividad térmica del trazado, Btu/hr-ft <sup>2</sup> (°F/ft)
$K$	Conductividad térmica de la tubería "

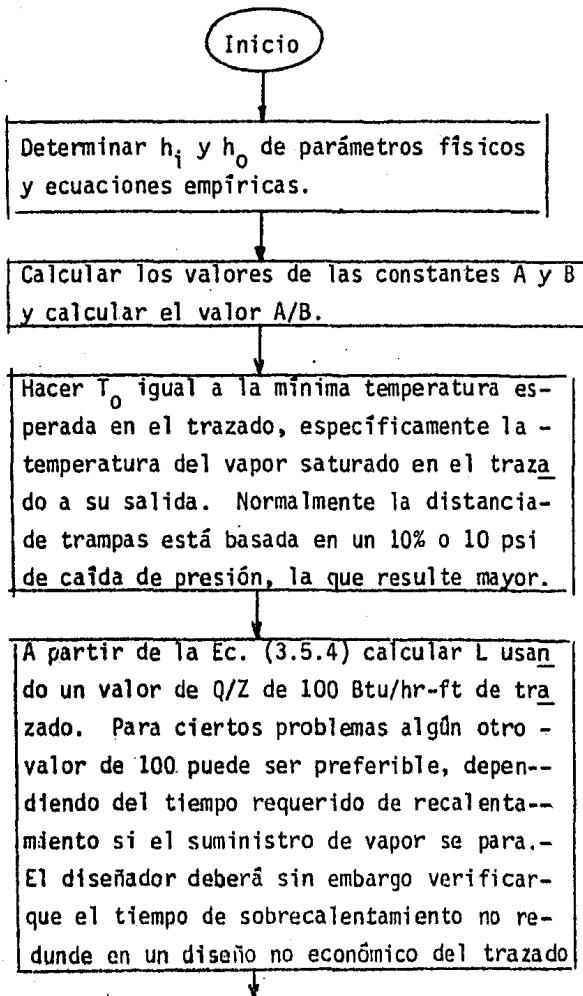
$K_{ins}$	Conductividad térmica del aislamiento, $\text{Btu/hr-ft}^2(^{\circ}\text{F/ft})$
$L$	Pitch del trazado de vapor, ft
$N_{Nu}$	Número de Nusselt, $h_i D/k$ , adimensional
$N_{Pr}$	Número de Prandtl, $c_p \mu/k$ , adimensional
$Q$	Calor transferido al fluido de proceso, Btu/hr
$Q_T$	Calor total transferido por el trazado, Btu/hr
$t$	Espesor de la pared del tubo, ft
$T$	Temperatura de la pared de la tubería, $^{\circ}\text{F}$
$T_{amb}$	Temperatura ambiente, $^{\circ}\text{F}$
$T_{med}$	Temperatura media a $x = L$ , $^{\circ}\text{F}$
$T_o$	Temperatura de la pared del trazado, $^{\circ}\text{F}$
$T_p$	Temperatura del fluido de proceso, $^{\circ}\text{F}$
$T_s$	Temperatura del vapor, $^{\circ}\text{F}$
$V_v$	Volúmen específico del vapor, $\text{ft}^3/\text{lb}$
$V_l$	Volúmen específico del líquido, $\text{ft}^3/\text{lb}$
$w'$	Consumo de vapor por unidad de longitud del trazado, Btu/hr ft.
$x$	Distancia a lo largo de la pared de la tubería, ft
$x_{ins}$	Espesor del aislamiento, in
$Z$	Longitud equivalente del trazado, ft
$\Delta H$	Cambio de entalpía del vapor a través del trazado, - Btu/lb
$\Delta P$	Pérdida de presión del vapor a través del trazado, - $\text{lb/in}^2$
$\alpha = x/L$	
$\mu$	Viscosidad, $\text{lb/ft-hr}$

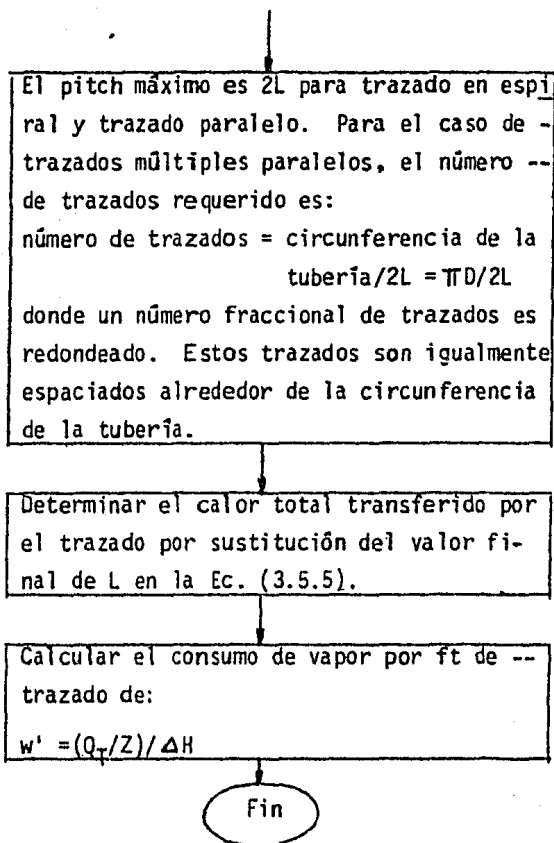


$\rho$  Densidad del fluido, lb/ft<sup>3</sup>

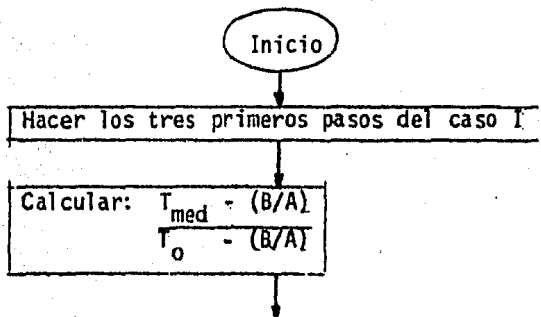
Aplicación:

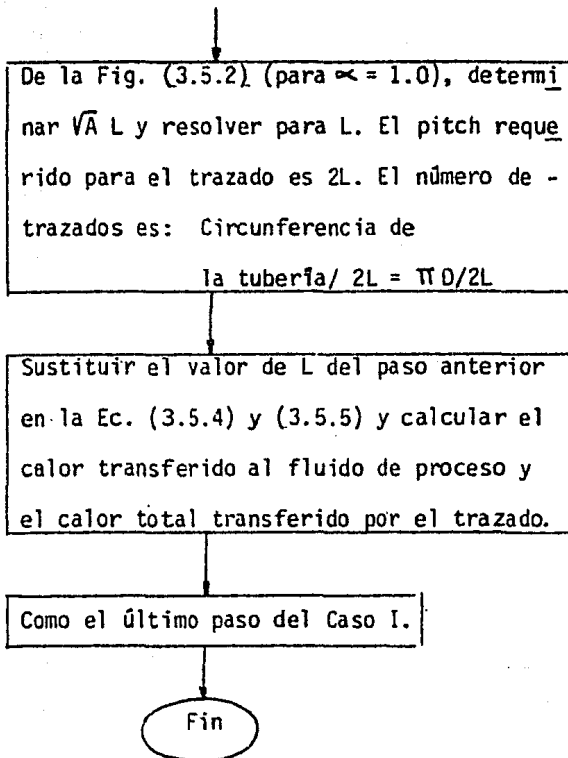
A continuación se presenta el procedimiento para resolver los -- problemas más comunes de diseño de trazado de vapor. Caso I.-Man tener un volúmen estancado de fluido de proceso a una temperatura especificada como mínima.





Caso II: Mantener la temperatura de la pared de la tubería especificada como mínima.





### Ejemplos de aplicación.

#### Caso I. Mantener la temperatura del volumen.

##### Problema (3.5.1)

Una tubería de 10" de acero inoxidable está manejando anhídrido ftálico a 300°F, la línea va a ser trazada con vapor usando cementos que transfieren calor y es aislada -- con 1.5" de silicato de calcio para mantener el fluido a 300°F. El caso del diseño es para un fluido de proceso estancado, con un coeficiente natural de convección promedio de 20 Btu/hr-ft<sup>2</sup>°F, Determinar el número de trazados

paralelos requeridos, el calor transferido al fluido de proceso y el consumo de vapor, usando vapor saturado de 150 psig.

Datos:

Temperatura ambiente,  $T_{amb} = -10^{\circ}F$

Temperatura del suministro de vapor,  $T_s = 366^{\circ}F$

Temperatura del fluido de proceso,  $T_p = 300^{\circ}F$

Conductividad térmica de la pared de la tubería de acero-Inox.

$K = 9.8 \text{ Btu}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2)(^{\circ}F/\text{ft})$

Conductividad térmica del aislante,  $k_{ins} = 0.3 \text{ Btu}/(\text{hr}\cdot\text{ft}^2)(^{\circ}F/\text{in})$

Espesor de la pared de la tubería = 0.165"

Trazado de cobre, D.E. = 0.50", D.I. = 0.43".

Suponer el coeficiente de transferencia de calor entre el aislamiento y el ambiente atmosférico,  $h_{air} = 2 \text{ Btu}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}F$ .

La solución se obtiene aplicando el procedimiento del caso I.

Calcular  $h_o$ , coeficiente de transferencia de calor entre la pared y la atmósfera ambiente.

$$\frac{1}{h_o} = \frac{1}{h_{air}} + \frac{x \text{ ins}}{k \text{ ins}} \quad \text{De donde } h_o = 0.182 \text{ Btu}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}F$$

$$\frac{1}{h_o} = \frac{1}{2.0} + \frac{1.5}{1.3} \quad \text{y dado } h_i = 20 \text{ Btu}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}F$$

Determinar A y B

$$A = (h_o + h_i) / kt = (0.182 + 20) / (9.8)(0.165/12) = 150 \text{ ft}^2$$

$$\sqrt{A} = 12.25 \text{ ft}$$

$$B = \frac{h_i T_p + h_o T_{amb}}{kt} = \frac{(20)(300) + (0.182)(-10)}{(9.8)(0.165/12)} = 44510 \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$B/A = 44510/150 = 296.7^\circ\text{F}$$

Nota:  $B/A = 296.7^\circ\text{F}$  corresponde a la temperatura de equilibrio de la pared de la tubería en ausencia del trazado de vapor.

Suponer una caída de presión del 10% para el circuito de trazado, por lo tanto la presión de vapor a la salida será de 135 psig, la cual corresponde a una temperatura de vapor saturado de  $358^\circ\text{F}$ , por lo tanto  $T_o = 358^\circ\text{F}$ . Diseñar para un calor neto de entrada de 100 Btu/hr-ft de trazado. Usando la Ec.(3.5.4), resolver para L suponiendo una  $\text{Tan } h(\sqrt{A} L) = 1$ .

$$L = \frac{Q/Z - 2(T_o - B/A) h_i / \sqrt{A}}{2 h_i (B/A - T_p)}$$

$$L = \frac{100 - 2(358 - 296.7)(20)/12.25}{2(20)(296.7 - 300)} = 0.76 \text{ ft}$$

Chequeo de la suposición:

$$\text{Tan } h(\sqrt{A} L) = \text{Tan } h(12.25)(0.76) = \text{Tan } h 9.3 \approx 1.0$$

Por lo tanto la suposición hecha es válida y  $L = 0.76 \text{ ft}$  es correcto. El pitch mínimo requerido es  $2L = 2(0.76) = 1.52 \text{ ft}$

$$\text{Número de trazados paralelos} = \pi D/2L = \frac{\pi(10.75/12)}{1.52} = 1.85$$

Con 2 trazados paralelos la distancia resultante entre los trazados es:  $\pi D/2 = 1.4 \text{ ft } \delta 16.8''$ .

El calor total transferido es: Ec. (3.5.5)

$$Qt/Z = \frac{2(20 + 0.182)}{12.25} (358-296.7) \text{ Tan } h(12.25)(0.7)$$

$$Qt/Z = 202 \text{ Btu/hr-ft}$$

El consumo de vapor es:  $W' = \frac{Qt/Z}{\Delta H}$

$$W' = 202/865 = 0.234 \text{ lb/hr-ft}$$

Determinación de la máxima longitud de trazado por trampa, correspondiente a la  $\Delta P$  supuesta anteriormente.

$$Z = \left( \frac{1.48 \times 10^{11} D^5 (\Delta P)}{f (W')^2 (V_v - V_l)} \right)^{1/3}$$

$$Z = \left( \frac{1.48 \times 10^{11} (0.43/12)^5 (15)}{(0.012)(0.234)^2 (3.02-0.018)} \right)^{1/3}$$

$$Z = 405 \text{ ft máximos equivalentes.}$$

Caso II. Prevenir la condensación.

Problema (3.5.2)

Una corriente de aire saturada con sulfuro de hidrógeno y vapor de agua está fluyendo a 150°F a través de un ducto de --

acero al carbón de 28" de diámetro, aislado con 1-1/2" de silicato de calcio. Es necesario mantener la temperatura del ducto arriba de 150°F para prevenir la condensación del sulfuro de hidrógeno y el agua.

Determinar el pitch requerido de trazado de vapor y número - de trazados que serán aplicados con cementos que transfieren calor, usando un vapor saturado de 30 psig y 274°F. Calcular también el calor transferido al fluido de proceso y el consumo de vapor.

Datos.

Flujo de la corriente de aire = 53,500 lb/hr.

Temperatura ambiente,  $T_{amb} = 10^{\circ}\text{F}$

Temperatura del vapor,  $T_s = 274^{\circ}\text{F}$

Temperatura del fluido de proceso,  $T_p = 150^{\circ}\text{F}$

Conductividad térmica del ducto de acero al carbón,  $K = 28$   
Btu/(hr-ft<sup>2</sup>)(°F-ft)

Conductividad térmica del aire = 0.0168 Btu/(hr-ft<sup>2</sup>)(°F/ft)

Conductividad térmica del aislamiento,  $k_{ins} = 0.3$  Btu/(hr-ft<sup>2</sup>)  
(°F/ft)

Viscosidad del aire = 0.02 cp.

Calor específico del aire = 0.25 Btu/lb°F

Espesor de la pared del ducto = 0.25"

Trazado de cobre, D.I. = 0.50"

Suponer el coeficiente de transferencia de calor entre el aislamiento y el ambiente atmosférico,  $h_{air} = 2 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

La solución se obtiene aplicando el procedimiento del Caso II.

Calcular  $h_i$ , coeficiente de transferencia de calor entre la pared y la corriente de proceso.

$$\text{Masa Velocidad, } G = \frac{\text{Flujo}}{\text{Area de flujo}} = \frac{53,500}{\pi/4(28/12)^2} = 12,500 \text{ lb/hr-ft}^2.$$

$$N \text{ Re} = DG/\mu = \frac{(28/12)(12,500)}{(0.02)(2.42)} = 603,000$$

$$N \text{ Pr} = C_p \mu / k = (0.25)(0.02)(2.42) / 0.0168 = 0.72$$

De la Ec. de Dittus-Boelter

$$N \text{ Nu} = 0.023(N \text{ Re})^{0.8} (N \text{ Pr})^{0.4}$$

$$N \text{ Nu} = 0.023(603,000)^{0.8} (0.72)^{0.4} = 850 = h_i D / k$$

$$\text{y } h_i = \frac{(850)(0.0168)}{(28/12)} = 6.12 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

Cálculo de  $h_o$ , coeficiente de transferencia de calor entre la pared y la atmósfera ambiente.

$$1/h_o = X_{ins}/K_{ins} + 1/h_{air}$$

$$1/h_o = 1.5/0.3 + 1/2.0$$

$$h_o = 0.18 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$$



Determinar las constantes A y B.

$$A = (h_o + h_i)/Kt = (0.18 + 6.12)/28(0.25/12) = 10.8 \text{ ft}^2$$

$$\sqrt{A} = 3.29 \text{ ft}$$

$$B = (h_i T_p + h_o T_{amb})/Kt = \frac{6.12(150) + (0.18)(10)}{28(0.25/12)} = 1,575 \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$B/A = 1,575/10.8 = 146^\circ\text{F}$$

Suponer una caída de presión de 10 psi a través del circuito de trazado. A una presión de salida de 20 psig corresponde una temperatura de vapor saturado de  $260^\circ\text{F}$ , por lo tanto  $T_o = 260^\circ\text{F}$ .

$$\frac{T_{med} - (B/A)}{T_o - (B/A)} = \frac{150 - 146}{260 - 146} = 0.035$$

De la Fig. (3.5.2) para  $\alpha = 1$

$$L = 4.05/3.29 = 1.215 \text{ ft} = 14.6 \text{ in.}$$

El pitch máximo requerido es  $2L = 2.43 \text{ ft} = 29.2 \text{ in.}$

$$\text{Para trazados paralelos: Número de trazados} = \frac{\pi(28/12)}{2(1.215)} = 3.02$$

Esta solución depende del cálculo del parámetro  $h_i$ , el cual puede variar en un rango de 20%. Un chequeo muestra que un valor más grande de  $h_i$  requiere de 4 trazados de 1.82 ft, requiriéndose un segundo diseño.

El calor transferido al fluido de proceso es; Ec. (3.5.4)

$$Q/Z = 2 \left( \frac{(T_o - (B/A)) h_i}{\sqrt{A}} \right) (\text{Tan h}(\sqrt{A}L)) + 2 h_i ((B/A) - T_P) L$$

$$Q/Z = \frac{2(260-146)(6.12)}{3.29} \text{Tan h}(3.29)(0.91) + 2(6.12)(146-150)(0.91)$$

$$Q/Z = 377 \text{ Btu/hr-ft de trazado}$$

El calor total transferido es:

$$Q_t/Z = \frac{2(h_i + h_o)}{\sqrt{A}} (T_o - (B/A)) \text{Tan h}(\sqrt{A}L)$$

$$Q_t/Z = \frac{2(6.12 + 0.18)(260 - 146)}{3.29} \text{Tan h}((3.29)(0.91))$$

$$Q_t/Z = 434 \text{ Btu/hr-ft de trazado}$$

El consumo de vapor es:

$$W' = \frac{Q_t/Z}{\Delta H} = \frac{434}{976} = 0.445 \text{ lb/hr-ft de trazado}$$

Determinación de la máxima longitud de trazado por trampa

$$Z = \left( \frac{1.48 \times 10^{11} (0.43/12)^5 (10)}{(0.012)(0.445)^2 (11.9 - 0.017)} \right)^{1/3}$$

$$Z = 146 \text{ ft.}$$

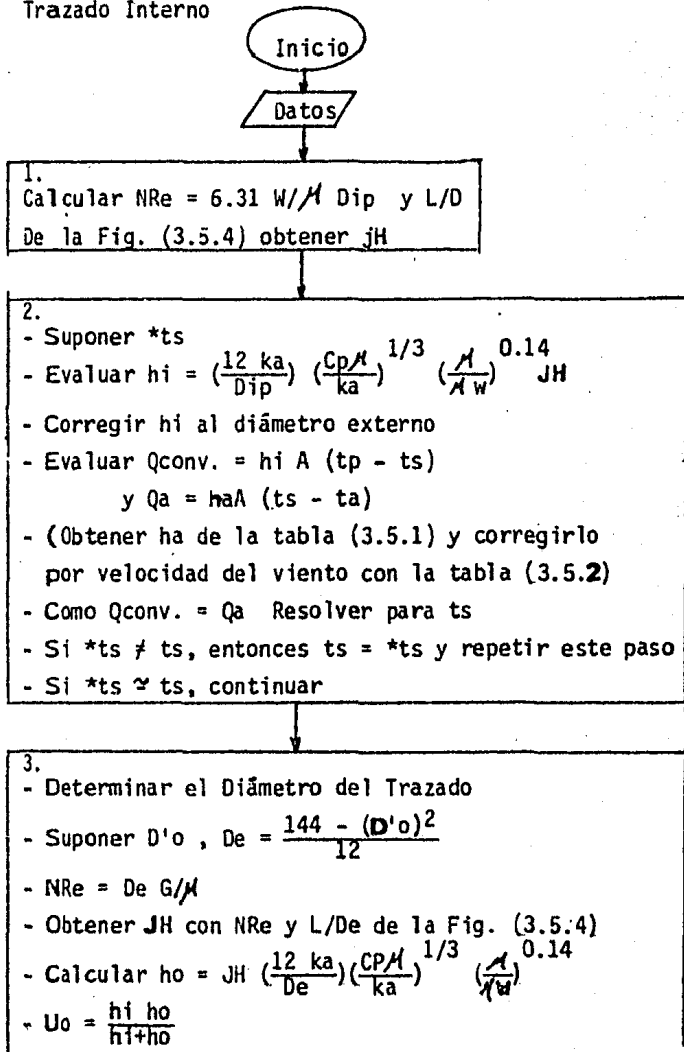
### 3.5.2 Método de Kholi.<sup>31</sup>

Es un método para el diseño de trazado de vapor, tanto externo como interno, que tiene por objeto mantener tuberías de proceso a una cierta temperatura. Está basado en ecuaciones básicas de transferencia de calor y requiere de las propiedades de la tube-

ría y aislamiento en su caso, así como las del fluido que en ella circula además de los datos de proceso involucrados.

El procedimiento de diseño empleado es el siguiente:

- Trazado Interno



- Con  $U_o$  y  $Q_p = U_o A_p (t_{st} - t_p)$  Calcular el área de trazado
- Si  $D'o \neq D_{calc}$ , repetir el paso
- Si  $D'o \approx D_{calc}$ , FIN.

FIN

- Trazado Externo

INICIO

DATOS

1.
  - Suponer una caída de presión para el vapor y encontrar la temperatura de saturación para ambas presiones.
  - Evaluar  $t_{st}$
  - Suponer  $h_a$
  - Calcular  $q_2 = \frac{2\pi K l (t_p - t_s)}{\log(d_o/d_i)} = h_a A_l (t_s - t_a)$
  - Calcular  $q_2$  y  $t_{st}$  resolviendo simultáneamente

2.
  - Determinar el diámetro del trazado.
  - De la Tabla (3.5.3) encontrar  $C_t$
  - Con  $q = C_t(t_{st} - t_p)$  verificar  $q_2$
  - Si  $q \neq q_2$ , seleccionar otro trazado de la tabla (3.5.3), lo que implica otro valor de  $C_t$  y repetir el paso.
  - Si  $q \approx q_2$ , Fin.

FIN

NomenclaturaA      Área de la tubería,  $ft^2/ft$  de longitud

Ap	Area externa de la tubería de trazado, $\text{ft}^2/\text{ft}$ de long.
Al	Area externa de la capa aislante, $\text{ft}^2/\text{ft}$ de longitud
cp	Calor específico, $\text{Btu}/\text{lb}^\circ\text{F}$
D	Diámetro, in
De	Diámetro equivalente de la tubería, ft
Di	Diámetro interno, in
Dip	Diámetro interno de la tubería, in
Do	Diámetro externo, in
D'o	Diámetro externo de la tubería de trazado, in
di	Diámetro interno del aislante, in
do	Diámetro externo del aislante, in
G	Masa velocidad, $\text{lb}/\text{hr}\text{-ft}^2$
ha	Coefficiente de película para el aire, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2$
hi	Coefficiente de película interior, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2$
ho	Coefficiente de película exterior, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2$
JH	Factor de Colburn, adimensional
ka	Conductividad térmica, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2\text{ }^\circ\text{F}/\text{ft}$ .
L	Longitud de la tubería, ft
NRe	Número de Reynolds, adimensional
Qa	Flujo de calor al aire, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2$
Qconv	Flujo de calor por convección, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2$
Qp	Pérdidas de calor de la tubería del trazado, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}^2$
q2	Pérdidas de calor, $\text{Btu}/\text{hr}\text{-ft}$ de longitud
$t_a$	Temperatura del aire, $^\circ\text{F}$
$t_p$	Temperatura del interior de la tubería, $^\circ\text{F}$

- $t_s$  Temperatura de la superficie de la capa aislante, °F
- $t_{st}$  Temperatura promedio del vapor, °F
- $t_w$  Temperatura de la pared del tubo, °F
- $T_p$  Temperatura de la tubería, °F
- $U_o$  Coeficiente de transferencia de calor basado en la superficie exterior,  $Btu/hr-ft^2 - °F$
- $w_1$  Flujo másico, lb/hr
- $\mu$  Viscosidad, lb/ft-hr
- $\mu_w$  Viscosidad a la temperatura de la pared
- $\rho$  Densidad del fluido,  $lb/ft^3$

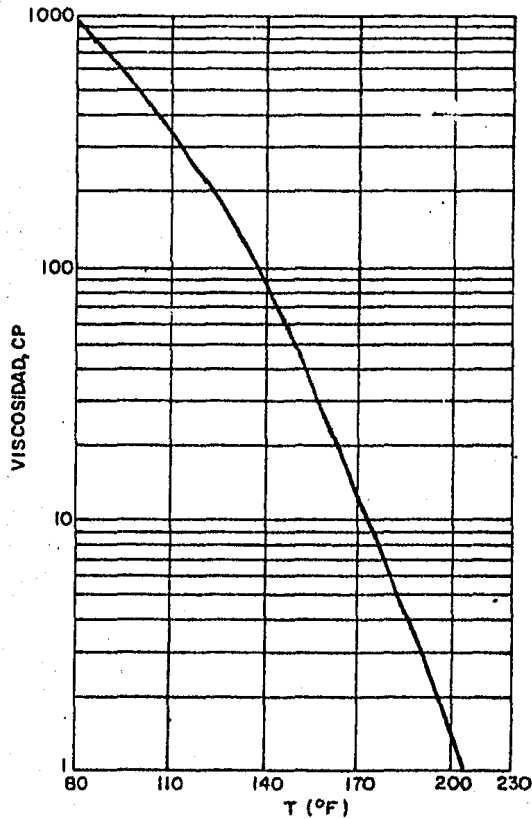


FIG. 3.5.3 GRAFICA  $\mu$  vs T PARA ACEITE DE CALENTAMIENTO.

## Caso I. Trazado Interno.

## Problemas (3.5.3)

Dimensionar un sistema de trazado de vapor para mantener una línea de aceite combustible usada en forma intermitente a 140°F.

## Datos:

Temperatura promedio	20°F
Velocidad del viento	20 millas por hora
Longitud de la línea	500 ft
Dimensiones	12" nominal
Máxima relación de descarga	500 tons/hr
Presión del vapor	65 lb/in <sup>2</sup> man.
Gravedad específica del aceite	0.985
Viscosidad a 140°F	200 cp (ver Fig. (3.5.3))
Conductividad térmica	0.0778 Btu/hr-ft <sup>2</sup> (°F/ft)
Calor específico	0.47 Btu/lb°F

Como la tubería no será usada en forma continua usar un trazado interno sin aislamiento:

Pérdidas de calor: Como es trazado interno serán despreciadas.

$$N Re = \frac{6.31 W1}{\mu D^{1p}}$$

Donde: W1 = Relación de flujo másico, 500 Ton/hr(2240 lb/Ton)

$\mu$  = Viscosidad, 200 cp a 140°F

Dip = Diámetro de la tubería, 12" por lo tanto:

$$N Re = \frac{6.31(500)(2240)}{200(12)} = 2940$$

$$L/D = 500/(12/12) = 500$$

de la Fig. (3.5.4)

$$JH = \left( \frac{hi Dip}{ka(12)} \right) \left( \frac{Cp \mathcal{M}}{ka} \right)^{-1/3} \left( \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}w} \right)^{-0.14} = 8.0$$

$$\text{de donde } hi = \left( \frac{12ka}{Dip} \right) \left( \frac{Cp \mathcal{M}}{ka} \right)^{1/3} \left( \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}w} \right)^{0.14} \quad (8.0)$$

Para un primer cálculo suponer  $T_s = 90^\circ F$

$$Dip = 12 \text{ in}$$

$$\mathcal{M} = 200(2.42) \text{ lb/ft-hr (a } 200^\circ F)$$

$$\mathcal{M}w = 520(2.42) \text{ lb/ft-hr (a } 200^\circ F)$$

$$Cp = 0.47 \text{ Btu/lb}^\circ F$$

$$\rho = 0.985(62.4) \text{ lb/ft}^3$$

$$ka = 0.0778 \text{ Btu/hr-ft}^2 - (^\circ F/\text{ft})$$

$$\text{Por lo tanto } hi = \left( \frac{12(0.0778)}{12} \right) \left( \frac{0.47(200)(2.42)}{0.0778} \right)^{1/3} \left( \frac{200(2.42)}{520(2.42)} \right)^{0.14} (8.0)$$

$$\text{Tomamos } hi = 7.78 \text{ Btu/hr-ft}^2 - ^\circ F$$

$$hi = 8.0 \text{ Btu/hr-ft}^2 - ^\circ F$$

Corrigiendo al diámetro externo de la tubería

$$hi = 8.0(12.7/12) = 8.5 \text{ Btu/hr-ft}^2 - ^\circ F$$



Entonces  $Q_{\text{conv}} = h_i A (t_p - t_s)$  Btu/hr - ft<sup>2</sup>

$$Q_{\text{conv}} = 8.5A(140 - t_s)$$

y  $Q_a = h_a A (t_s - t_a)$  de las Tablas (3.5.1) y (3.5.2)

$$*h_a = 1.83(2.76) = 5.04 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

\* Corrigiendo por velocidad del viento

$$Q_a = 5.04A(t_s - 20) \text{ Btu/hr}^\circ\text{F}$$

Como:  $Q_{\text{conv}} = Q_a$  resolviendo simultáneamente se tiene que:

$$t_s = 95^\circ\text{F}$$

Hay una diferencia insignificante en  $\mu_w$  entre 90 y 95°F; similarmente ha no cambia, por lo tanto las pérdidas de calor son: - -

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas de calor} &= (8.5) \pi (12.7/12) (140 - 195) \\ &= 1,290 \text{ Btu/hr-ft de tubería} \end{aligned}$$

Debido a la baja temperatura de la tubería, las pérdidas de calor por radiación han sido despreciadas.

Determinar el tamaño del trazado: Para un ensayo inicial suponer que el trazado es de 1.5" de diámetro interno (1.9" de diámetro externo).

$$\text{Diámetro equivalente, } D_e = \frac{(12)^2 - (1.9)^2}{12} = 11.7 \text{ in}$$

$$N \text{ Re} = \frac{D_e G}{\mu}$$

Donde G = Masa velocidad, lb/hr-ft<sup>2</sup>

$$G = \frac{W1}{\pi/4(De)^2}$$

$$G = \frac{500(2240)}{\pi/4(1 - (1.9)^2/144)} = 1.45 \times 10^6 \text{ lb/hr-ft}^2$$

$$De = 0.975 \text{ ft}$$

$$\mu = 200 \text{ cp a } 140^\circ\text{F}, \quad \text{por lo tanto:}$$

$$N \text{ Re} = 0.975 \left( \frac{1.45 \times 10^6}{200(2.42)} \right) = 2.8 \times 10^3$$

$$\text{De la Figura (3.5.4) } JH = 9.0, \quad L/D = 150/0.975 = 154$$

El coeficiente de transferencia de calor para el calor transferido por el aceite combustible basado en el diámetro interno de 12" de calibre nominal, a la superficie del trazado de vapor, donde - la viscosidad del aceite combustible es:

$$\mu_w = \frac{h_i De}{ka} \left( \frac{C_p \mu}{ka} \right)^{-1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0.14}$$

Suponiendo una caída de presión de 20 psi a lo largo del trazado de vapor, la presión promedio es: 55 psig (el vapor entra a 65 -- psig).

La temperatura promedio es: 303°F

Por lo tanto  $\mu_w = 1.0(2.42) \text{ lb/ft-hr}$  (para aceite combustible)

y el coeficiente de transferencia de calor a la superficie externa del trazado de vapor es:

$$h_o = JH \left(\frac{k_a}{D_e}\right) \left(\frac{C_p \mu}{k_a}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

$$h_o = 9.0 \left(\frac{0.0778}{0.9975}\right) \left(\frac{0.047(200)(2.42)}{0.0778}\right)^{1/3} \left(\frac{200}{1.0}\right)^{0.14}$$

$$h_o = 21.6 \text{ Btu/hr-ft}^2 \text{ - } ^\circ\text{F}$$

Tomando un factor de ensuciamiento de  $0.005 \text{ hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F/Btu}$

$$1/U_o = 1/h_o + 0.005 = 1/21.6 + 0.005$$

$$1/U_o = 0.051 \text{ ft}^2\text{-hr-}^\circ\text{F/Btu}$$

$$U_o = 19.6 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

Calor transferido desde el trazado de vapor = Pérdidas de calor - de la tubería sin el trazado de vapor.

$$Q_p = U_o A_p (t_{st} - t_p) \quad \text{Por lo tanto:}$$

$$1,290 = 19.6 A_p (303 - 140) \text{ de donde}$$

$$A_p = 1290/19.6(1.63) = 0.40 \text{ ft}^2/\text{ft de tubería}$$

El área superficial de una tubería de 1" de diámetro nominal es:-

$$0.334 \text{ ft}^2/\text{ft.}$$

El área superficial de una tubería de 1.5" de diámetro nominal es:

$$0.498 \text{ ft}^2/\text{ft.}$$

Por lo tanto una tubería de 1.5" de diámetro nominal para el trazado será aceptable.

Checar un incremento en la velocidad del fluido sobre el coeficiente de película externo a la pared de la tubería (el trazado interno incrementa la velocidad del fluido de proceso).

$$N Re = DeG/\mu = 0.975(1.45 \times 10^6/2.42(200)) = 2,920$$

donde G está basada en el diámetro equivalente de la tubería y la viscosidad a 140°F, que es la temperatura deseada para el aceite.

De la Figura (3.5.4) JH = 8.05

esto no implica un incremento significativo en las pérdidas de calor calculadas.

Checar el incremento de caída de presión para la línea de proceso:

$$\text{Factor de corrección: } \frac{(Di)^{2.4}(Di+0.5D'o)^{1.2}}{(Di^2 - D'o^2)^{1.8}} \left(\frac{\mu_w}{\mu}\right)^{0.14}$$

$$= \frac{(12)^{2.4}(12+(0.5 \times 1.90))^{1.2}}{((12)^2 - (1.9)^2)^{1.8}} (520/500)^{0.14} = 1.33$$

Checar la caída de presión para el trazado de vapor:

Máxima longitud del trazado = 150 ft.

Carga de calor = 150 x 1290 Btu/hr

Calor latente del vapor = 901 Btu/lb , por lo tanto:

Carga de vapor = 150(1,290)/901 = 215 lb/hr por trazado

De la Figura (3.5.5) la caída de presión a condiciones de entrada es:  $\Delta P/100 = 0.55 \text{ lb/in}^2$ , por lo tanto:

$\Delta P/\text{trazado} = 1.5(0.275) = 0.412 \text{ lb/in}^2$ , por lo tanto:

Temperatura promedio del vapor =  $312^\circ\text{F}$  (65  $\text{lb/in}^2$  man.)

$$U_o = 19.6 \text{ Btu/hr-ft}^2 - ^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 312 - 140 = 172^\circ\text{F}$$

el área requerida para el trazado es:  $1290/(19.6 \times 172) =$   
 $= 0.383 \text{ ft}^2/\text{ft}$

el área superficial de una tubería de 1.5" de diámetro nominal  
 es:  $0.498 \text{ ft}^2/\text{ft}$  por lo que resulta adecuada.

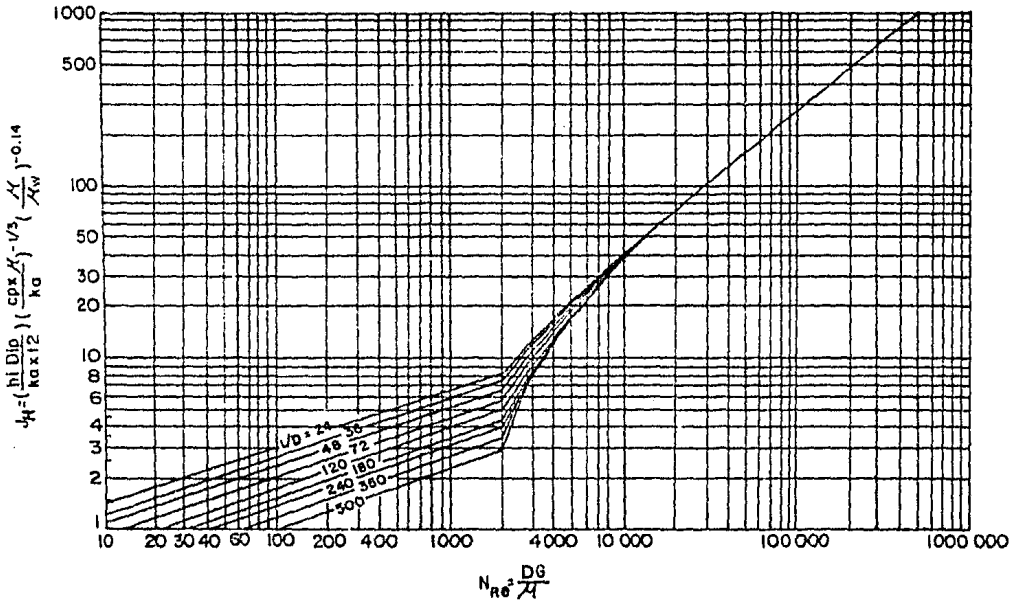


FIG 3.5.4 GRAFICA  $N_{Re}$  vs  $J_H$  (FACTOR DE COLBURN)

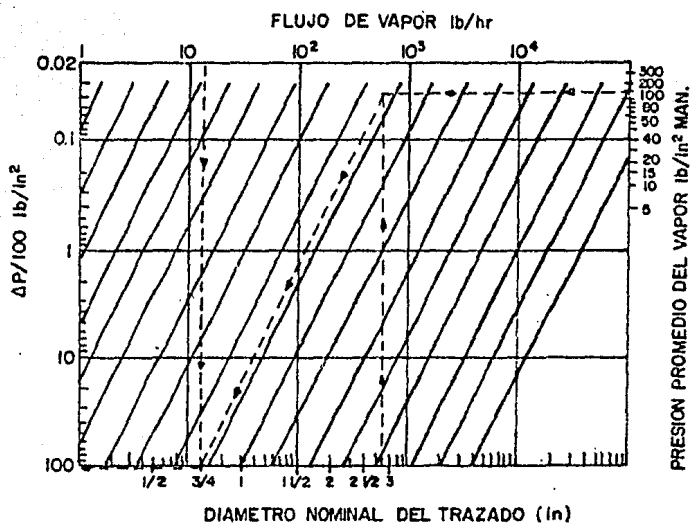


FIG. 3.5.5. DETERMINACION DE LA CAIDA DE PRESION EN TUBERIAS.

Caso II. Trazado Externo.

Problema (3.5.4)

Dimensionar un sistema de trazado para mantener una línea de 3" a 320°F. La línea será cubierta con una capa de aislante de 1 1/2".

Datos:

Conductividad térmica del aislamiento = 0.033 Btu/hr-ft<sup>2</sup>(°F/ft)

Velocidad del viento = 20 millas por hora

Temperatura mínima del aire,  $T_a = 20^\circ\text{F}$

Longitud de la línea = 100 ft

Vapor de 150 lb/in<sup>2</sup> man.

Temperatura de la tubería (tp) = 320°F

Determinar la carga de calor.

Suponer 5 psi de caída de presión a lo largo del trazado, en  
tonces la temperatura promedio es:

$$t_{st} = (366 + 363)/2 = 364.5^\circ\text{F}, \text{ tomar } 364^\circ\text{F}, \text{ por lo tanto:}$$

$$\begin{aligned} \text{Temperatura promedio} &= 0.5(t_{st} + t_p)^\circ\text{F} \\ &= 0.5(364 + 320)^\circ\text{F} \\ &= 342^\circ\text{F} \end{aligned}$$

asumiendo para el trazado un diámetro interno de aislante=4"

$$q_2 = \frac{2\pi(0.033)(t_p - t_s)}{\ln d_o/d_i} = haA(t_s - t_a)$$

$$d_o = 7", d_i = 4"$$

suponiendo para un primer ensayo que ha = 4.0 Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F

$$\begin{aligned} q_2 &= \frac{2\pi(0.033)(342 - t_s)}{2.303 \log(7.0/4.0)} \\ &= 4.0\pi(7.0/12)(1)(t_s - 20) \end{aligned}$$

$$\delta \quad \frac{0.0895(342 - t_s)}{0.245} = 7.35(t_s - 20)$$

$$\delta \quad 0.368(342 - t_s) = 7.35 t_s - 147$$

$$\delta \quad 126 - 0.368 t_s = 7.35 t_s - 147$$

Por lo tanto  $t_s = 273/7.718 = 35^\circ\text{F}$

Las tablas (3.5.1) y (3.5.2) no son suficientemente precisas

en esta región, pero el valor de 4.0 tomado para  $h_a$  es seguro, supuesto por velocidad del viento, por lo tanto:

$$\begin{aligned} q_2 &= 7.35(ts - 20) \text{ Btu/hr-ft de tubería} \\ &= 7.35(35 - 20) \\ &= 113 \text{ Btu/hr-ft de tubería} \end{aligned}$$

Determinación de las dimensiones de trazado.

Se puede hacer usando datos de conductancia térmica Fig. - - (3.5.3) sobre trazado para tubería: Btu/hr-ft-°F (de tubería). Esto toma en cuenta el coeficiente de transferencia de calor y el área superficial de la tubería. Estos datos han sido - evaluados experimentalmente.

$$q_2 = \frac{h_a A_i}{C_t} (ts - ta)$$

Si un trazado de 1/2" sin cemento es usado, el calor transferido es: = 0.393 (tst-tp)

$$= 0.393 (364-320) = 17.3 \text{ Btu/hr-ft.}$$

Esto no satisface la carga de calor requerida. Dos trazados de 1/2" no resuelven el problema (sin cemento). Si se usa - un trazado de 1/2" con cemento que transfiere calor, el calor transferido es:

$$4.58(364 - 320) = 201 \text{ Btu/hr-ft}$$

un trazado de 3/8" con cemento transfiere un calor de:

$$3.44(364 - 320) = 151 \text{ Btu/hr-ft}$$



En instalaciones prácticas por lo general se requieren tuberías de trazado de 1/2". Algunas veces se tiene un sobrediseño con trazado de vapor.

Diámetro de la tubería. in.	(ts-ta)°F (Para una tubería desnuda ts=ta)							
	50	100	150	200	250	300	400	500
1/2	2.12	2.48	2.76	3.10	3.41	3.75	4.47	5.30
1	2.03	2.38	2.65	2.98	3.29	3.62	4.33	5.16
2	1.93	2.27	2.52	2.85	3.14	3.47	4.18	4.99
4	1.84	2.16	2.41	2.75	3.01	3.33	4.02	4.83
8	1.76	2.06	2.29	2.60	2.89	3.20	3.83	4.68
12	1.71	2.01	2.24	2.54	2.82	3.12	3.83	4.61
24	1.64	1.93	2.15	2.45	2.72	3.03	3.70	4.48

ha está en Btu/hr ft<sup>2</sup> °F, basado en aire libre

Tabla (3.5.1) Valores de ha para tuberías en aire.

Velocidad del viento mi/hr	(ts - ta) °F (Para una tubería desnuda ts = ta)				
	100	200	300	400	500
2.5	1.46	1.43	1.40	1.36	1.32
5.0	1.74	1.69	1.64	1.59	1.53
10.0	2.16	2.10	2.02	1.93	1.84
15.0	2.50	2.42	2.33	2.27	2.08
20.0	2.76	2.69	2.58	2.45	2.30
25.0	2.98	2.89	2.78	2.64	2.49
30.0	3.15	3.06	2.94	2.81	2.66
35.0	3.30	3.21	3.10	2.97	2.81

Tabla (3.5.2) Factores de corrección para h<sub>a</sub> a distintas velocidades del viento.

Diámetro del Trazado	C <sub>t</sub> sin cemento Btu/hr°F-ft	C <sub>t</sub> con cemento Btu/hr°F-ft
3/8	0.295	3.44
1/2	0.393	4.58
5/8	0.490	5.73

Tabla (3.5.3) C<sub>t</sub>, conductancia térmica para trazados.

### 3.5.3 Método Thermon.<sup>50</sup>

Diseño del mantenimiento de la temperatura (solución por el factor R).

En una situación de equilibrio, las pérdidas de calor de la tubería y a través del aislante, pueden ser igual al calor liberado por el trazado. Esto es:

$$Q \text{ perdido} = Q \text{ liberado}$$

$$\text{o } C_i(T_p - T_a) = C_t(T_{\text{media}} - T_p)$$

Donde:

$C_i$  = Conductancia de calor a través del espacio anular de aire, aislante, condiciones ambientales y película de aire en el exterior.

$C_t$  = Conductancia de calor entre el trazado con cemento y la tubería.

$T_{\text{media}}$  = Temperatura media para la transferencia de calor.

$T_p$  = Temperatura de la tubería.

$T_a$  = Temperatura ambiente.

La razón de la conducción del trazado y del aislamiento forma los grupos dimensionales comúnmente referidos como R. Por un reordenamiento de los términos de la ecuación previamente establecida, es posible escribirla como:

$$R = \frac{(T_p - T_a)}{(T_{media} - T_p)}$$

ó

$$T_p = \frac{R T_{media} - T_a}{R + 1}$$

El factor R ha sido determinado basándose en datos experimentales y calculados, los cuales se muestran en la Tabla (3.5.4). -- Así que la temperatura media y la temperatura ambiente son permanentemente conocidas, por lo que las ecuaciones permitirán las predicciones de la temperatura en la tubería, las cuales cubren todos los tamaños de tubería y ambientes para un espesor de 1.5- y 2" de aislamiento tipo 1.

Los aislantes Tipo 1 son los más usados y estos pueden ser:

1. Silicato de calcio.
2. Sílica expandida.
3. Fibra de vidrio,
4. Lana mineral
5. Vidrio celular
6. Poliuretano



Nota: En la tabla, la parte superior está basada en 1 1/2" de --  
aislante tipo I y la inferior está basada en 2" de aislante  
tipo 1. Una velocidad del aire de 25 millas por hora -  
fue considerada en el desarrollo de esta tabla. Estos da-  
tos pueden ser usados solo para mantener temperaturas.

Problema (3.5.5).

Una tubería de 4 pulgadas va a ser trazada con vapor saturado de  
150 psig. La temperatura del aire ambiente es 0°F. El aislante  
es de 1.5 in de espesor nominal y tiene una conductividad térmica  
similar a los aislantes tipo I. La temperatura de proceso de  
be ser mantenida a 300°F. Encontrar el número de trazados requeridos.

Datos:

Diámetro de la tubería = 4"

Espesor del aislante = 1.5"

Ta = 0°F

Tp = 300°F

TMedia = 360°F, De las tablas de vapor (ver tabla 3.5.6) ya que  
para vapor saturado de 150 psig TMedia = 366°F.

$$R = \frac{(T_p - T_a)}{(T_{Media} - T_p)}$$

$$R = \frac{(300^\circ\text{F} - 0^\circ\text{F})}{(366^\circ\text{F} - 300^\circ\text{F})}$$

$$R = 4.55$$

De la tabla (3.5.4) se observa que para 4" de diámetro nominal de la tubería y para un espesor de aislante de 1.5" se puede usar un trazado de 1/2" ó 3/8" en un canal tipo I el cual facilitará el trabajo requerido.

### Problema (3.5.6)

Encontrar la temperatura real que mantiene el trazado de 1/2" ó 3/8" seleccionado en el Problema (3.5.5)

Datos:

Ø Tubería = 4"

Espesor del aislante = 1.5"

Ta = 0°F

TMedia = 366°F

Tp = ?

R = 6.5 obtenido de la Tabla (3.5.4) con el diámetro de la tubería y el espesor del aislante.

$$T_p = \frac{R T_{Media} - T_a}{R + 1}$$

$$T_p = \frac{(6.5)(366^\circ\text{F}) - 0^\circ\text{F}}{6.5 + 1}$$

$$T_p = 317^\circ\text{F}$$

- Cálculo de las pérdidas de calor.

Para determinar el consumo de energía así como la longitud má

xima del circuito de trazado con cemento, es necesario estimar las pérdidas de calor a través del aislante. Las pérdidas de calor pueden ser expresadas de la siguiente manera.

$$q = Co M1 (Tp - Ta)$$

Donde:

$q$  = Pérdidas de calor bajo condiciones de equilibrio en Btu/hr-ft.

$Co M1$  = Conductancia de calor a través del espacio anular de aire, aislante, condiciones ambientales y película de aire en el exterior en Btu/hr-ft<sup>°F</sup>

$Tp$  = Temperatura de equilibrio en la tubería, °F.

$Ta$  = Temperatura ambiente, °F.

Valores de  $Co$  y  $M1$  han sido recopilados en la tabla (3.5.5) para varios tamaños de tubería común y para aislantes que tienen una curva de conductividad térmica similar al aislamiento Tipo 1.

#### Problema (3.5.7)

Encontrar las pérdidas de calor que se tendrán bajo condiciones de equilibrio de la tubería y condiciones de diseño establecidas en el problema (3.5.6)

Datos:

$$T_p = 317^\circ\text{F}$$

$$T_a = 0^\circ\text{F}$$

Co y M1 se obtienen de la tabla (3.5.5)

Co = 0.484 para 4" de diámetro de la tubería y 1.5" de espesor de aislamiento.

$$M1 = 1.14 + 17/100 (0.08) = 1.15 \text{ (valor interpolado)}$$

$$q = (0.484)(1.15)(317 - 0)$$

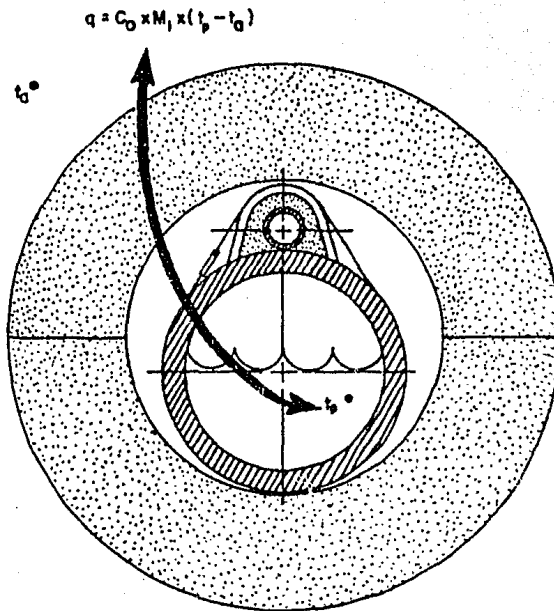
$$q = Co M1 (T_p - T_a)$$

$$q = 117 \text{ Btu/hr-ft}$$

Tipo de Accesorio	Longitud Equivalente
45°	0.7
90°	1.0
180°	1.6
Compuerta	0.7
G l o b o	17.0

Tabla (3.5.7) Longitudes Equivalentes de Accesorios para Trazado de Vapor.





		C <sub>0</sub>			
DIAMETRO INTERNO DEL AISLAMIENTO	DIAMETRO NOMINAL DE LA TUBERIA	ESPESOR DEL AISLAMIENTO		T (°F)	M I
		1 1/2"	2"		
2 1/2"	1 1/2"	.221	.192	40	0.89
3"	2"	.283	.242	50	0.90
3 1/2"	2 1/2"	.384	.243	100	0.90
4"	3"	.341	.284	150	1.00
6"	4"	.484	.383	200	1.04
8"	6"	.588	.471	250	1.08
10"	8"	.679	.552	300	1.14
12"	10"	.788	.660	400	1.22
14"	12"	.935	.739	500	1.30
16"	14"	1.06	.834	600	1.39
18"	16"	1.180	.926	700	1.48
20"	18"	1.307	1.018		
22"	20"	1.420	1.111		
26"	24"	1.615	1.258		
32"	30"	1.965	1.527		

NOTA: PARA VALORES INTERMEDIOS INTERPOLAR.

TABLA 3.5.5 VALORES DE C<sub>0</sub> Y M I.

NOTA: LA CONDUCTANCIA (C<sub>0</sub>) NO INCLUYE FACTORES DE SEGURIDAD. SI SE DESEA ALGUNOS FACTORES DE SEGURIDAD PUEDEN SER INCLUIDOS EN EL CALCULO DE LA LONGITUD DEL CIRCUITO.

Presión del Vapor (psig)	Calor Latente de vaporización (Btu/lb)	Temperatura del vapor saturado. (°F)
0	970.3	212.0
1	968.2	215.3
5	960.6	227.2
10	952.8	239.5
15	945.7	249.8
20	939.5	258.8
25	934.0	266.8
30	928.9	274.0
35	924.3	280.6
40	919.9	286.7
45	915.7	292.4
50	911.8	297.7
55	908.1	302.6
60	904.7	307.3
65	901.3	311.8
70	898.0	316.0
75	894.9	320.0
80	891.9	323.9
85	889.0	327.6
90	886.1	331.2
95	883.3	334.6
100	880.8	337.9
105	878.0	341.1
110	875.5	344.1
115	873.0	347.1
120	870.7	350.0
125	868.3	352.9
130	865.9	355.6
135	863.7	358.3
140	862.3	360.9
145	860.1	363.3
150	857.1	365.9
155	855.0	368.2
160	852.9	370.7
165	850.9	372.8
170	848.9	375.3
175	846.9	377.3
180	845.0	379.7
185	843.1	381.6
190	841.2	383.7
195	839.3	385.8
200	837.5	387.8
210	833.9	391.7
220	830.4	395.4
230	826.9	399.1
240	823.5	402.6
250	820.2	406.0
300	804.6	421.7

TABLA (3.5.6) TABLAS DE VAPOR

19.30

### 3.6 CEMENTOS QUE TRANSFIEREN CALOR.

Los cementos que transfieren calor son usados para aumentar la eficiencia de un trazado de vapor externo o un trazado eléctrico.

Los cementos se basan en el uso de una gran conductividad térmica. La transferencia de calor se efectúa por conducción. Las buenas propiedades térmica y una mayor área superficial de contacto permiten una alta razón de distribución de calor.

El peligro de grandes sitios calientes se elimina al aplicar el cemento de manera cuidadosa. En estado seco, el peso promedio del cemento es de  $90 \text{ lb/ft}^3$  ( $1440 \text{ Kg/m}^3$ ). Aplicado a una línea de trazado, el cemento será igual o mejor que un trazado soldado con la ventaja adicional de simplicidad y evitando la corrosión electrolytica.

Los cementos estándar son utilizados a temperaturas superiores de  $315^\circ\text{C}$  y se aplican ya sea en trazados con vapor o líquidos y en trazados eléctricos. Algunos otros son diseñados para uso particular con temperaturas elevadas de calentamiento superiores a los  $675^\circ\text{C}$ .

Estos cementos pueden ser solubles o insolubles en agua. Los solubles necesitan protección contra la humedad, aunque el aislamiento térmico puede encargarse de esto en la mayoría de los casos. Los no solubles son fabricados especialmente para condiciones extremas de humedad y atmósferas corrosivas.

Los cementos que transfieren calor son materiales basados en grafito -- que poseen alta capacidad de conducción de calor. Estos cementos forman una excelente conexión térmica entre el trazado y la tubería de proceso, eliminando las bolsas de aire que pudieran existir.

Los cementos se encuentran disponibles para aplicaciones en rangos de temperatura de  $-320^{\circ}\text{F}$  a  $1250^{\circ}\text{F}$ . Estos cementos existen en forma de pre formado por pie de descubierto o en pasta con un canal adicional.

### 3.6.1 Selección de los Cementos que Transfieren Calor.

Varias formulaciones de cementos que transfieren calor son empleadas para cubrir un amplio rango de aplicaciones de ingeniería. La selección de la formulación correcta debe cubrir las consideraciones siguientes:

1. Temperatura máxima y mínima de los cementos, los cuales pueden estar expuestos a condiciones de operación normales y anormales.
2. Condiciones ambientales bajo las cuales se instala el cemento.
3. Tamaño de la tubería.
4. Costo total de la instalación del cemento.
5. Resistencia a la solubilidad del cemento.

Las características básicas de varias formulaciones están dadas en la tabla (3.6.1).

Los cementos insolubles en agua tienen relativamente alta resistencia eléctrica. Estos no pueden reaccionar con el aluminio - y son aplicados frecuentemente debido a su resistencia a la humedad en operaciones de enfriamiento y sistemas de trazado de líquidos empleando un medio de transferencia de calor de 200°F o menos.

Los cementos flexibles no solubles en agua son diseñados para - minimizar las horas hombre requeridas para su instalación, la - cual puede ser 3 veces más rápida que con cementos insolubles - en agua en los cuales se maneja goma. El cemento flexible se - aplica generalmente en usos de calentamiento, empleándolo como - medio de transferencia de calor a temperaturas expuestas de - - 406°F ó menos.

Los cementos solubles en agua generalmente se emplean para procesos de calentamiento donde la temperatura media o la temperatura de exposición excede de los 406°F. La aplicación de estos cementos es usando canales o secciones de canales (cuando el tamaño o irregularidades de la superficie no permita la instalación de canales largos). Cuando se usan en superficies de aluminio, estos cementos requieren la aplicación de una cubierta protectora para evitar la corrosión, la cual se aplica antes de instalar el cemento.

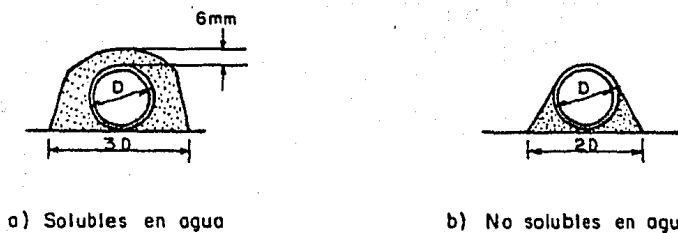
### 3.6.2 Aplicación e Instalación de los Cementos que Transfieren Calor.

El área donde se van a aplicar este tipo de cementos, debe estar razonablemente limpia; polvo, escamas, moho y residuos de pintura pueden ser removidos empleando un cepillo de alambre. El aceite y películas de grasa pueden ser removidas usando un solvente. Los embarnizados o capas protectoras pueden ser removidos usando un removedor para barniz.

Antes de iniciar la instalación del cemento, todo el trazado debe ser sometido a una presión media, igual o mayor a la cual vaya a ser operado el trazado bajo operación normal. Todo agujero o grieta detectado debe ser reparado antes de iniciar la instalación del cemento.

La aplicación es importante para la eficiencia de la transferencia de calor y es recomendable que para cementos solubles en agua, el trazado sea completamente cubierto por contornos manuales a un espesor mínimo de 6 mm y una base de 3 veces el diámetro exterior del trazado como se muestra en la Figura (3.6.1a).

Los cementos no solubles en agua tienen una fuerza superior y la aplicación es solo llenando las cavidades laterales, esto se muestra en la Figura (3.6.1b).



**FIG. 3.6.1 APLICACION DE LOS CEMENTOS QUE TRANSFIEREN CALOR.**

Después de la aplicación, los cementos requieren de un curado, - los solubles en agua generalmente se les permite estar durante 4 horas expuestos a aire seco, seguido de un calentamiento inicial de 4 horas a una temperatura de 80 a 100°C. Sobre válvulas y -- otras formas irregulares, el cemento es aplicado en mayor masa y el período de curado puede ser hasta de 24 horas. Los cementos- no solubles en agua no requieren de una técnica particular de -- inicio, la colocación y endurecimiento son proporcionados por la temperatura de operación.

TIPO DE CEMENTO	SOLUBLES EN AGUA		INSOLUBLES EN AGUA		FLXIBLES
Uso Estándar	Para uso en sistemas de trazado de cana sobre tubería de proceso. También se usan para sistemas de trazado con resistencias eléctricas, así como también en válvulas, bombas, serpentines de tipo placa y equipo similar.		Adecuados para su uso en áreas de extrema humedad y atmósferas corrosivas, el producto es particularmente adecuado para válvulas y equipo similar.		Cemento preformado para aplicación en tubería de proceso usando canales.
Temperaturas límites MAXIMA MINIMA	720°F -320°F	1250°F - 320°F	325°F -320°F	175°F -320°F	406°F -100°F
U <sub>1</sub> Transferencia de calor total del trazado hacia la pared de la tubería.  CALENTAMIENTO ENFRIAMIENTO	20-40	20-40	20-25 10-20	20-25 10-20	20-40 10-20 Solo con canales.
Esfuerzo cortante de la unión lb/in <sup>2</sup>	200-250	200-250	1000-1800	1000-1800	100-150
CUBIERTA APLICADA	POR TABLAS(3.6.2), (3.6.3)	POR TABLAS(3.6.2)y (3.6.3)	POR TABLAS(3.6.2 y (3.6.3)	POR TABLAS (3.6.2) y (3.6.3)	POR TABLAS (3.6.2) y (3.6.3)
TECNICA DE ARRANQUE	4-12 HS. de 160°F A 212°F. NO SE USA CANAL.	4-12 HS. DE 160°F A 212°F. NO SE USA CANAL.	NO REQUIERE PROCEDIMIENTO	NO REQUIERE PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE CURADO.	NO REQUIERE PROCEDIMIENTO ESPECIAL DE CURADO
Tempratura mínima de aplicación.	32°F	32°F	0°F Ambiente Producto a 32°F	32°F Ambiente producto a 70°F.	10°F
Método de Instalación.	Aplicado a mano con cuchara y usando canales	Aplicado a mano con cuchara y Usando Canales	Aplicado a mano con pistola de aire o eléctrica.	Aplicado a mano con pistola de aire o eléctrica.	CON CANAL
Resistencia a la solubilidad	Soluble en más líquidos.	Soluble en más líquidos.	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
Resist. Eléctrica	0.267 OHMS/in	3.3 OHMS/in	146 OHMS/in	146 OHMS/in	146 OHMS/in
Vida del Cemento	1 AÑO	1 AÑO	30-90 días al menos. Bajo refrigeración 1 Año	30-90 días al menos. Bajo refrigeración 1 Año	1 AÑO

TABLA (3.6.1) CARACTERÍSTICAS DE LOS CEMENTOS QUE TRANSMITEN CALOR.



TAMAÑO DEL TRAZADO	TAMAÑO DE LA LINEA DE PROCESO (in)	CUBIERTA LINEAL POR GALON DE CEMENTO (PIES)				NOTAS.
		CANAL TIPO I	CANAL TIPO II	CUCHARA	CHAFLAN	
Tubo 3/8 in Ø Externo	1 1/2 in	28		32	200	1
Tubo 1/2 in Ø Externo	1 1/2 in	32		28	140	1
Tubo 3/4 in Ø Externo	3 in		19	14	67	1
Tubo 1 in Ø Externo	3 in			9	42	1
Tubo 1/2 in NPS	3 in		21	12	58	1,2
Tubo 3/4 in NPS	3 in			9	42	1,2,3
Tubo 1 in NPS	3 in			6	24	1,2,3

- NOTAS: 1. Algunas de las figuras cubiertas con una aplicación manual con cuchara son aproximadas. Ahora bien, estas cubiertas dependen de la habilidad del trabajador.
2. El trazado puede ser soldado a los cambios de dirección.
3. No se usan canales.

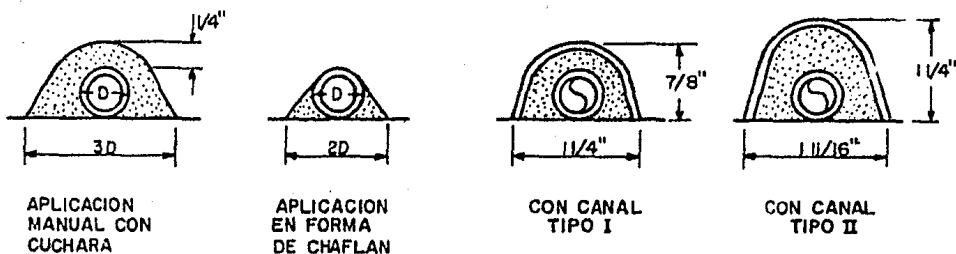



TABLA (3.6.2) ESTIMADO DEL ALCANCE DE COBERTURA DE LOS CEMENTOS PARA TRAZADOS EN PARALELO.

TAMAÑO DE LA VALVULA (in)	ALCANCE DEL CEMENTO (GALONES)	
	APLICACION MANUAL CON CUCHARA	APLICADO EN FORMA DE CHAFLAN
1.5	0.36	0.005 - 0.008
2.0	0.43	0.012 - 0.020
3.0	0.71	0.016 - 0.028
4.0	1.00	0.024 - 0.040
6.0	1.43	0.036 - 0.060
8.0	2.0	0.048 - 0.080
10.0	2.50	0.060 - 0.100
12.0	3.00	0.072 - 0.120
14.0	3.50	0.105 - 0.169
16.0	4.00	0.120 - 0.200
18.0	4.50	0.136 - 0.225
20.0	5.00	0.150 - 0.250
24.0	6.00	0.180 - 0.300
30.0	7.50	0.225 - 0.375
36.0	9.0	0.270 - 0.450

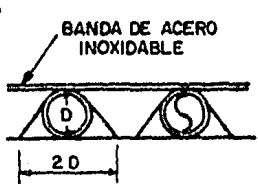
  



BANDA DE ACERO INOXIDABLE

1/4"

APLICACION MANUAL CON CUCHARA



BANDA DE ACERO INOXIDABLE

2D

APLICADO EN FORMA DE CHAFLAN

TABLA (3.6.3) ESTIMADO DEL ALCANCE DE COBERTURA DE LOS CEMENTOS EN VALVULAS.

### 3.7 AISLAMIENTO TERMICO PARA TRAZADO DE CALOR EN TUBERIAS. <sup>25, 26, 39, 47</sup>

#### 3.7.1 Introducción.

La conservación del calor por medio de materiales aislantes, es un problema que ha puesto muchas dificultades en su solución. De hecho hasta la actualidad el usuario ha puesto mucha atención en el costo inicial sin tomar en cuenta la cuestión del costo económico del aislamiento, lo cual ha sido causa de cálculos laboriosos necesarios para determinar las pérdidas de calor a través de diversos espesores de aislamiento, así como un extenso rango de dimensiones de tubería, a través de un amplio rango de temperaturas.

Hasta la actualidad varios métodos han sido usados o ensayados, para llegar a las bases sobre las cuales pueda ser garantizada una mayor eficiencia, sin embargo en la determinación del espesor económico del aislamiento, se han utilizado técnicas arbitrarias especificadas en estándares nacionales, estos estándares -- junto con trabajos de laboratorios de investigación, institutos y manuales especializados tal como el de la Asociación de Fabricantes de Equipo de Ingeniería (The Engineering Equipment Manufacturers Association), han sido un camino considerable hacia la rapidez y claridad de un diseño efectivo, necesario para una correcta operación.

El enorme uso del aislamiento térmico en la industria química y-

petroquímica ha dado lugar a que se produzcan nuevos estándares y especificaciones, así como nuevas condiciones y nuevos productos aislantes. Sin embargo no solo es importante la velocidad en el trabajo del diseñador sino también la aplicación y precisión del método usado para el cálculo del espesor económico, como lo es el método de la tabulación, el cual es preparado por especialistas en aislamiento. Este evita generalizaciones y suposiciones necesarias para las soluciones algebraicas, por la publicación y distribución a usuarios de datos comprensibles en forma manual sobre conductividad térmica, coeficientes de superficie, temperaturas de superficies, pérdidas de calor y espesor de aislamiento para un rango completo de dimensiones de tubería y rangos extremos de temperatura.

Además de esto debe ser conocido el período de evaluación, el costo del calor y el costo de aplicación de un rango de espesores de aislamiento, junto con sus respectivas pérdidas de calor.

- a) Período de evaluación. Es determinado por la vida anticipada de la planta en horas de operación, o bien, en algún caso la vida de algún equipo es tomada como las horas actuales de operación anticipadas, de otra forma puede ser seleccionado un espesor inadecuado de aislamiento, con consecuencias en pérdidas de capital.
- b) Costo del Calor. Este deberá ser tomado como el punto de aplicación del aislamiento y deberá incluir costos proporcionales de calderas, o alguna otra unidad de producción de ca-

lor, capital y costos, eficiencia de calentadores, costo de combustibles y el costo del sistema de distribución. Esto, de acuerdo, es continuamente influenciado por el incremento de los costos de combustible.

- c) Costo de Aplicación del aislamiento. Usualmente depende -- del contratista seleccionado, sobre la base de materiales, -- rango de espesor, dimensiones de tubería, localización, fi- nes requeridos y condiciones del lugar. Esta información -- es precisa (o deberá ser apropiadamente evaluada) para apli- caciones simples o múltiples.

### 3.7.2 Materiales Aislantes - Requerimientos Generales:

Los materiales aislantes incluyendo protección deberán tener:

- a) Resistencia al ataque químico, si no es así, entonces el -- aislamiento deberá ser provisto con una cubierta protectora.
- b) Resistente a la humedad, lo suficiente para que no sufra de -- terioro en condiciones húmedas, particularmente cuando la -- operación es abierta (impermeables).
- c) Resistente a la vibración, esfuerzo mecánico y abrasión o -- como muchos otros materiales aislantes por su naturaleza -- son mecánicamente poco resistentes.
- d) Características con las cuales puedan ser formados como se -- requiere, para poder aislar en forma efectiva la tubería y -- accesorios.

El costo obviamente se incrementa cuando el aislamiento pre

senta mayores características, pero hay que recordar que un costo inicial alto no implica que no sea un aislamiento económico, dado que hay que considerar los costos de mantenimiento y reemplazo que se tendrían si no se selecciona el aislante adecuado.

Las categorías de materiales son:

Fibras. Las cuales incluyen la lana mineral, roca, escorias, vidrio, cerámicas y fieltro de pelo.

Granular. Silicato de calcio, magnesia, tierras diatomeas y corcho.

Celular. Vidrio formado, poliuretano y asociados y poliéstereno.

Metálicos. Hoja de aluminio.

### 3.7.3 Riesgos a la Salud Asociados con Aislamiento Térmico.

Deben ser tomadas las precauciones necesarias durante el manejo y aplicación de materiales aislantes, dado que se corre el riesgo de que sobrevengan serios efectos a la salud.

La fibra de asbestos fue por mucho tiempo el componente principal en diversos aislantes, pero otros tipos de fibras están siendo utilizadas, las cuales son mucho menos dañinas y muchos aislamientos son ahora especificados como "libres de asbestos".

Cuando los materiales aislantes contienen fibras de asbesto requieren ser manejados tanto en su aplicación como en su remoción por personal capacitado, el cual deberá apegarse a (Asbestos - - Industry Regulations) 1969 para el "Código de Prácticas Recomendadas para el Manejo de Productos que Contienen Asbestos Usados en Aislamiento Térmico".

En ciertas ramas de la industria alimenticia, los materiales aislantes a base de fibras no son aceptados por riesgo de contaminación ya que algunos materiales fibrosos son irritantes de la piel cuando son manejados, pero el personal puede ser protegido por el uso de guantes y siguiendo adecuadamente las indicaciones de fabricantes en sus instrucciones de aplicación.

#### 3.7.4 Materiales - Descripción.

Fibra de Vidrio. Hecha de vidrio de características conocidas, procesado en fibras largas y finas de poco peso, las cuales son usadas en una gran variedad de aislamientos. Se forma en placas rígidas y flexibles para facilitar su aplicación tanto en tubería recta como en accesorios, se produce en 36" (915 mm) de longitud y en un rango de dimensión de 3/8" (10 mm) a 18" (457 mm) para tuberías de acero, y de 1/2" (12 mm) hasta 6" (150 mm) para tuberías de cobre.

El material flexible es aceptable para temperaturas desde -185°C

a 540°C y en la forma rígida hasta 510°C. No es combustible, resistente a daños, inodoro, no higroscópico entre otras características.

Lana mineral. Es una fibra larga de lana mineral, no combustible y resiste altas temperaturas, usada arriba de 600°C, es fabricado en forma rígida, incluyendo secciones de tubería, para tuberías arriba de 20" (508 mm) para acero y arriba de 6" (150 mm) para tubería de cobre. Arriba de dimensiones de 20", las tablas biseladas son usadas. El material también es provisto en forma flexible para temperaturas arriba de 750°C.

Las composiciones reforzadas con fibras de no-asbesto son también provistas para fácil aplicación en la tubería, la composición seca siendo mezclada con agua y siendo aplicada en condición plástica es útil para operaciones arriba de 1000°C. El material es no combustible, no higroscópico, contra corrosión y putrefacción.

Lana de Escoria. (También conocida como algodón silicón). Procesada por chorros de vapor dentro de un horno de viento, lo cual produce un material finamente dividido para temperaturas arriba de 600°C. Fabricado en forma rígida y semirrígida. Es una de las formas granulares de lana mineral.

Cerámica. Es un material no combustible, durable y fuerte, es -



también usado como un material refractario. Es un "asbesto libre" no tóxico y es usado en muchas formas, aplicado como un spray en forma suelta o rígida. Como aislamiento es susceptible a temperaturas arriba de 1600°C y es muy resistente, tiene excelente resistencia al ataque químico, vibración, choque térmico y erosión, hasta cierto punto absorbe humedad, pero la rechaza sobre un ciclo de temperatura. El espesor puede ser variado. Para propósitos de aislamiento la densidad es alrededor de 12 lb/ft<sup>3</sup> pero puede ser incrementada por aditivos.

Silicato de Calcio. El silicato de calcio generalmente contiene arriba de 15% de fibra (generalmente asbestos libres) con tierras diatomeas a algún relleno similar y un material fuerte. Tiene resistencia a la compresión y es usado en forma rígida y plástica para temperaturas de 200°C a 1000°C.

Magnesia 85%. Consiste de carbonato de magnesia hidratado que contiene arriba de 15% de fibras, se tiene en forma rígida y plástica, la forma rígida se usa para tuberías rectas y la forma plástica para válvulas, formas irregulares de tubería y accesorios. El rango de temperaturas es de 16°C a 315°C y tiene resistencia moderada a la humedad.

Tierras Diatomeas. Este material es encontrado en estado natural y seco, tiene una estructura similar a la magnesia, su resis-

tencia mecánica es baja y se fabrica con fibras, puede ser usado para temperaturas máximas de 850°C en forma plástica y 1000°C en forma rígida.

Corcho. Es un material usado en rangos de -160°C a 90°C, particularmente usado en plantas de refrigeración, tiene mediana resistencia mecánica con buena resistencia a la humedad, se encuentra en forma de secciones moldeadas, es fácilmente formado e instalado y tiene una excelente resistencia a la vibración, pero no resiste el fuego.

Aislamientos tipo espuma. Están caracterizados por una formación celular, tienen muy baja densidad. La variedad de materiales de este tipo se ha incrementado enormemente con el desarrollo de las espumas sintéticas.

Vidrio espumado. Expandido inorgánico de forma celular el cual es moldeado sobre la tubería, tiene una densidad de aproximadamente 155 Kg/m<sup>3</sup> (9 lb/ft<sup>3</sup>). Tiene alta resistencia a la compresión, con excelente resistencia a la humedad y es no combustible, tiene un rango de -240°C a 425°C.

Espumas de poliuretano. Es un material sintético hecho de diisocianato. Para propósitos de aislamiento térmico tiene una densidad de 24 Kg/m<sup>3</sup> (1.5 lb/ft<sup>3</sup>) a 32 Kg/m<sup>3</sup> (2 lb/ft<sup>3</sup>), y pa-

ra usos a temperaturas bajas y bajo cero en un rango de  $-240^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$ . El material está caracterizado por su baja conductividad térmica y es producido para propósitos de aislamiento térmico en muchas formas.

Poliestireno. Es de características similares a los uretanos con excelente resistencia a la humedad y alta resistencia a la compresión, tiene un rango de  $-240^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ .

Láminas de aluminio. Es el aislamiento metálico más frecuentemente usado, pero las láminas de acero inoxidable son usadas algunas veces en casos de corrosión atmosférica. El aislamiento consiste de metal reflectivo separado por espacios de aire. La lámina tiene un rango de temperatura para la atmósfera de  $600^{\circ}\text{C}$ , es no combustible y resistente a la corrosión, es resistente a la humedad, una desventaja es que es fácilmente deformado por compresión y rasgable.

### 3.7.5 Acabado del Aislamiento y Cubiertas-Protectoras.

El acabado final y la protección son de importancia para la eficiente aplicación de cualquier aislamiento, para propósitos de eliminación del ingreso de humedad, protección contra el fuego y daños mecánicos además de corrosión. El acabado depende de las condiciones de operación, tipo de material aislante y la forma física del aislamiento.

a) Tejido de alambre. Empleado como un sujetador para cemen--

tos, la tela es usualmente de metal galvanizado o también de acero inoxidable. El metal expandido es también usado para propósitos similares.

- b) Cementos autoadheribles. Es el tipo más común de acabado, aplicado en muchos tipos de aislamiento aparte de poliuretano y polietileno, por lo general son aplicados manualmente. tienen una durable y excelente resistencia al agua.
- c) Bandas de metal y alambre. Son usadas para sujetar secciones rígidas de aislamiento, generalmente espaciadas en intervalos no mayores de 18" (450 mm). Las hay de acero flexible, acero flexible galvanizado, aluminio o acero inoxidable.
- d) Hoja de metal. Usado prácticamente para todos los tipos de aislamientos (rígidos, flexibles y plásticos). Los materiales comunes son: aluminio y acero flexible galvanizado y cubiertas plásticas.
- e) Cintas protectoras. Son usadas cintas autoadheribles y de materiales tales como PVC y vinil de 3" (75 mm) a 1/2" (13 mm), generalmente son usadas en tubería recta.
- f) Paño protector. Usado como una cubierta aislante conjuntamente con sellos del tipo mastic y hechos de fibras de vidrio y otros materiales.
- g) Otros materiales protectores incluyen cubiertas de masti-

que aplicado por esprayado que cuando es adecuadamente aplicado proporciona una excelente protección contra el agua. El esprayado de PVC en dos o más capas y muchas otras aplicaciones finales. Si se lleva a cabo todo esto los resultados finales serán satisfactorios.

### 3.7.6 Protección contra el Fuego.

Muchos aislamientos son no inflamables o pueden ser retardados en la aparición de fuego, pero aislamientos inflamables han sido consumidos por combustión espontánea en materiales tales como 85% de magnesita donde el aceite ha impregnado el aislamiento, debido a que no se pone la suficiente atención cuando se colocan las cubiertas protectoras. En áreas de alto riesgo de incendio donde están presentes vapores explosivos hay peligro con el uso de revestimientos de aluminio en presencia de óxido de hierro. Por estas razones en caso similar no se recomienda el uso de cubiertas de aluminio sobre superficies de tubería de acero.

### 3.7.7 Formas de Aislamiento.

Las formas de aislamiento están agrupadas en: secciones rígidas, plásticas, manta o colchón, floculantes y spray.

Sección rígida. Casi todos los tipos de materiales aislantes son construidos y formados en secciones de formas variadas incluyendo la parte rígida de tubería. Tienen como ventajas: rápida-

aplicación y pueden emplearse sobre la tubería fría sin necesidad de adicionar calor logrando un buen ensamble.

Plástica. Incluye todos los materiales aplicados en estado húmedo y dejados secar por métodos físicos, en algunos casos se añade calor para ayudar al secado y dar una aplicación satisfactoria.

Manta o colchón. Incluye los materiales fibrosos y granulares, se usan cortados para dar el tamaño y poder así fijarlos a la tubería. Son usados frecuentemente en curvas, bridas, cabezales, etc., particularmente donde el aislamiento requiere ser desechado.

Floculantes. Materiales que no tienen fuerza mecánica, tales como lana mineral, colocados con tela de alambre o metal expandido seguidos por una cubierta protectora dura o una hoja de metal.

Espreado. Tal como la cerámica que bien entra dentro de los floculantes, que se aplican en estado suave para después endurecer.

### 3.7.8 Notas Sobre Aplicación.

La aplicación de aislantes y cubiertas protectoras es un trabajo altamente especializado. Una mala aplicación puede elevar las pérdidas de calor y tener que dar un constante mantenimiento. Un

buen diseño y aplicación del aislamiento dará un servicio bueno y económico por más de 10 años sin ninguna dificultad.

Las siguientes consideraciones son de importancia para su aplicación.

- a) La superficie donde va a ser aplicado el aislamiento debe estar limpia, seca y libre de grasa. En algunos casos puede ser requerida una cubierta de pintura.
- b) Las secciones rígidas deberán tener juntas móviles donde más de una capa es envuelta y estas deberán ser envueltas y cerradas en contacto con la tubería y capas de los accesos por medio de alambres o bandas.
- c) Los colchones o muelles deberán ser unidos a tope firmemente y uno o ambos lados requieren ser fijados con tela de alambre recocido, sin embargo puede ser usado un metal expandido.
- d) En áreas con riesgo de incendio, los tejidos expandidos y placas de metal deberán ser aterrizados eléctricamente donde sea necesario.
- e) Donde existe la posibilidad de contaminación por químicos o aceite regado, es necesario tomar las precauciones adecuadas para evitar la contaminación del aislamiento, de otro modo la capa aislante corre el peligro de incendiarse, pa-

ra esto se emplean cubiertas y sellos protectores.

- f) La percha de la tubería deberá ser cubierta o protegida de tal manera que la humedad no pueda penetrar, usualmente se usa sellador flexible.
- g) Muchos aislamientos requieren la previsión de expansión, - de otro modo, un movimiento o vibración de la tubería producirá la ruptura del aislamiento. Las juntas de expansión deberán ser colocadas a intervalos de 9 ft (3m) y a am - bos lados de una curva.
- h) Muchos materiales aislantes contienen cloruros libres y la superficie de acero austenítico está expuesta a corrosión. Esto puede ser prevenido colocando una cubierta protectora contra el agua, junto con la aplicación de láminas de aluminio para dar protección a la tubería por corrosión electrolítica.
- i) El trazado de vapor y eléctrico deberán ser aislados como se muestra en la Fig. (3.3.7) y (4.3.2).
- j) Cuando se aplican diversas capas de aislamientos plásticos deberá cuidarse que la superficie entre capa y capa estén completamente secas.
- k) El espesor del aislamiento sobre válvulas y accesorios deberá ser el mismo que sobre la tubería.



- 1) Los aislamientos plásticos pueden ser fijados a la tubería con adhesivos resistentes al fuego.

### 3.7.9 Elaboración de una Especificación de Aislamiento.

Datos requeridos para preparar la especificación:

Los principales puntos que deben tomarse en consideración son:

- a) Presión y Temperatura. (si es vapor saturado o sobrecalentado).
- b) Temperatura del aire ambiente.
- c) Diámetro exterior de la tubería (apegado a estándares si es posible.)
- d) Longitud de la tubería.
- e) Número de bandas, curvas, accesorios especiales, válvulas y tipo de cubierta requerida.
- f) Indicar cualquier accesorio, válvula, junta, etc., que requiera ser removida periódicamente.
- g) Tipo de ceja del aislamiento requerido.
- h) Tipo de cemento de refuerzo.
- i) Protecciones finales requeridas, referirse si es por aceite, químicos, humedad, tipo de operación (cerrada o abierta), -- también corrosión por cloro.
- j) Existencia de cualquier riesgo de fuego.
- k) Aislamiento con retardantes de fuego.
- l) Si se requerirá calor para la aplicación de aislamiento plástico.

- m) Cualquier vibración o movimiento que puedan repercutir en la tubería.
- n) Número de horas de operación por año.
- o) Número de años que operará la planta.
- p) Periodo de depreciación (el cual puede ser diferente de 0).
- q) Costo del combustible y distribución de calor sobre rutas -- aisladas.
- r) Eficiencia requerida. Expresada en términos de pérdidas de calor.
- s) Material aislante que va a ser empleado.
- t) Requerimiento de protección para el aislamiento y el personal.
- u) Previsiones para expansión para evitar deterioro por ruptura del aislamiento.
- v) Protección contra la humedad, fugas, etc.
- w) Cualquier condición especial de aplicación del aislamiento.

## 3.8 ESPECIFICACION GENERAL DE TRAZADO DE VAPOR.<sup>48</sup>

### 3.8.1 Generalidades.

#### a) Introducción.

Esta especificación señala los requisitos para el diseño, selección de materiales de construcción e instalación de trazado de vapor.

#### b) Alcance.

b.1 El trazado de vapor se instalará en todas las líneas -- que conduzcan fluidos que necesiten mantener una cierta temperatura, con el objeto de evitar taponamientos por solidificación en tuberías y accesorios en caso de paro de flujo normal y otras causas ya mencionadas. El flujo de vapor en el trazado puede ser continuo o intermitente.

b.2 La presión de vapor requerida, así como la del retorno de condensados será seleccionada de acuerdo a las necesidades del proceso.

b.3 El condensado de las trampas de vapor deberá retornarse a un sistema de condensados. Si esto no es económico, entonces deberá descargarse al drenaje o al piso como se muestra en las Figs. (3.8.6) y (3.8.7).

b.4 Todas las unidades que requieren trazado de vapor tales como equipo e instrumentos, no serán contemplados en esta especificación.

## c) Términos Empleados.

Los siguientes términos serán empleados en el desarrollo de esta especificación,

Cabezal principal de vapor.

Cabezal de suministro a trazado de vapor.

Línea de alimentación a cabezal de suministro.

Líneas de suministro a trazados de vapor.

Trazado de vapor.

Línea sencilla de alimentación a trazado de vapor.

Retorno de trazado de vapor.

Condensado del trazado de vapor.

Cabezal de condensados del trazados de vapor.

Condensado del cabezal de suministro a trazado de vapor.

Cabezal principal de condensados.

Unidad calentada con trazado de vapor.

Trazado sencillo.

Trazado doble.

Trazado triple.

Curvas de expansión.

Conector.

Soportes de fijación de trazado de vapor.

Venteeo.

Nota: Ver la Fig. (3.8.1) para aplicación de estos términos.

## 3.8.2 Diseño.

a) Arreglo general

a.1 La extensión de los componentes que se localizarán en - los dibujos constructivos de tubería y los que se localizarán en el campo, se muestran en la Fig. (3.8.1).

Los componentes mostrados en los dibujos se localizarán en forma aproximada, la localización exacta se hará en el campo de acuerdo a las necesidades de instalación.

3.8.3 Detalles de Diseño.

a) Cabezales múltiples.

a.1 Se localizarán cabezales múltiples solamente cuando - existan un mínimo de tres líneas de suministro a trazados agrupados dentro de un radio de 3m, ver Fig.(3.8.2) y (3.8.3)

b) Líneas de suministro a trazados.

b.1 Las líneas de suministro a trazados se conectarán un cabezal múltiple o directamente a los cabezales principales de vapor. Se proporcionarán válvulas de bloqueo en cada una de ellas. Se localizarán preferentemente - arriba del punto más alto de la unidad que va a ser calentada.

3.8.4 Requisitos Generales de Instalación.

a) Instalación.

- a.1 Los trazados se instalarán como se muestra en la Fig. - (3.8.1)
- a.2 Los trazados seguirán en contorno de válvulas, bombas y equipo que tenga superficies irregulares. Se evitarán las bolsas en lo posible.
- a.3 Todo tubo flexible será doblado con un radio mínimo de 6 veces el diámetro exterior. El tubo doblado defectuosamente será rechazado.
- a.4 Cada trazado de vapor será trampeado individualmente. No se conectarán dos trazados paralelos a una misma - - trampa.
- a.5 No requieren drenarse en puntos bajos.
- b) Conexiones de salida.
  - b.1 Las conexiones de muestreo, drenajes, venteos e instrumentos no críticos acoplados y localizados junto a la tubería o equipo se calentarán con el mismo trazado de dicha tubería.
  - b.2 Aún cuando el ramal de una línea con trazado de vapor no requiera calentamiento, la primera válvula de bloqueo de dicho ramal deberá calentarse.
- c) Instrumentos.
  - c.1 Todos los instrumentos que requieran calentamiento llevarán trazados individuales.
- d) Válvulas de alivio.

d.1 Los trazados en válvulas de alivio estarán lo más cerca posible del asiento de la válvula con el fin de proporcionar una protección adecuada.

e) Materiales.

e.1 Las líneas de suministro a trazados, así como retorno - de condensados, estarán de acuerdo a la siguiente especificación de materiales.

e.1.1 Clase de vapor: Saturado,  $3.5 \text{ Kg/cm}^2$  ( $50 \text{ lb/in}^2$ )  
a  $4.6 \text{ Kg/cm}^2$  ( $65 \text{ lb/in}^2$ ).

Tolerancia a la corrosión: 0.05".

	CONCEPTO	DIAMETRO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
TUBO	Roscado y con cople Niples	1/2" a 2" 1/4" a 2"	Con costura, céd. 80 Sin costura, céd. 80 roscado en un extremo.	ASTM A 53 ASTM A 106 Gr. B
VALVULAS ROSCADAS	Compuerta (Cuerpo sólido)	1/2" a 2"	150# tornillo interior y casquete de unión.	ASTM B62
	Globo (Disco suelto)	1/2" a 2.5"	150# tornillo interior y casquete de unión.	ASTM B62
	Retención	1/2" a 2"	200# tapa roscada	ASTM B62
CONEXIONES	Roscadas	1/2" a 2"	300# hierro dúctil. Las tuercas unión serán con asiento de bronce.	ASTM A 445
JUNTAS	Mantenimiento Normal	1/2" a 2" 1/2" a 2"	Tuerca unión. Coples.	
CONEXIONES INSTRUM.	Presión	3/4"	200# inserto soldable.	
	Temperatura	1"	N.P.T.	

e.1.2 Clase de vapor: Saturado,  $7.1 \text{ Kg/cm}^2$  ( $100 \text{ lb/in}^2$ )  
a  $10.6 \text{ Kg/cm}^2$  ( $150 \text{ lb/in}^2$ ).

Tolerancia por corrosión: 0.05".

	CONCEPTO	DIAMETRO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
TUBO	Extremo	1/2" a 2"	Sin costura, céd. 40	ASTM A 106 Gr. B
	Niples	1/2" a 2"	Sin costura, céd. 80 roscado en un extre- mo.	ASTM A 106 Gr. B
VALVULAS INSERTO SOLDABLE	Compuerta (Cuña)	1/2" a 2"	600# tornillo exte- rior y yugo, casque- te atornillado.	ASTM A 105 Gr. WCB, Interiores 12% Cr, asiento endu- recido para com- puerta y globo.
	Globo (Dis- co suelto)	1/2" a 2"	600# tornillo ex- terior y yugo, casquete atorni- llado.	
	Retención (Bola ver- tical).	1/2" a 2"	600# casquete de unión.	
	Retención (Bola hori- zontal)	1/2" a 2"	600# casquete de unión.	
CONEXION NES.	Inserto soldable	1/2" a 2"	2000#. Las tuercas unión serán con asiento integral.	ASTM A 234 GR. WPB
JUNTAS	Mantenimiento Normal	1/2" a 2" 1/2" a 2"	Tuerca Unión coples.	
CONEXION INSTRUM.	Presión Temperatura	3/4" 1"	2000# inserto soldable N.P.T.	



e.1.3 Clase de Vapor; Saturado,  $14.1 \text{ Kg/cm}^2$  ( $200 \text{ lb/in}^2$ )  
a  $17.6 \text{ Kg/cm}^2$  ( $250 \text{ lb/in}^2$ ).

Tolerancia por corrosión: 0.05".

	CONCEPTO	DIAMETRO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
TUBO	Extremo plano	1/2" a 2"	Sin costura, céd. 40	ASTM A 106 Gr. B
	Niples	1/2" a 2"	Sin costura, céd. 80, roscado en un extremo.	ASTM A 106 Gr. B
VALVULAS INSERTO SOLDABLE	Compuerta (Cuna sólida)	1/2" a 2"	600# tornillo exterior y yugo, casquete atornillado.	ASTM A 106 Gr. 11 ó ASTM A 216 Gr. WCB.
	Globo (Disco suelto).	1/2" a 2"	600# tornillo exterior y yugo, casquete atornillado.	Interiores: 12% Cr.
	Retención (Bola vertical).	1/2" a 2"	600# casquete de unión.	Asiento o disco enducido para compuerta y globo.
	Retención (Bola horizontal)	1/2" a 2"	600# casquete de unión.	
CONEXIONES	Inserto soldable	1/2" a 2"	2000#. Las tuercas unión serán con asiento integral.	ASTM A 334 Gr. W.P.B.
JUNTAS	Mantenimiento	1/2" a 2"	Tuerca unión	
	Normal	1/2" a 2"	Cople.	
CONEXIONES INSTRUMENTOS.	Presión	3/4"	2000# inserto soldable.	
	Temperatura	1"	N.P.T.	

e.1.4 Clase de vapor: Saturado,  $21.2 \text{ Kg/cm}^2$  ( $300 \text{ lb/in}^2$ )  
a  $50 \text{ Kg/cm}^2$  ( $705 \text{ lb/in}^2$ ).

Tolerancia por corrosión: 0.05".

	CONCEPTO	DIAMETRO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
TUBO	Extremo plano	1/2" a 2"	Sin costura, céd. 80.	ASTM A 106 Gr. B
	Niples	1/2" a 2"	Sin costura, céd. 160, roscado en un extremo.	ASTM A 106 Gr. B
VALVULAS INSERTO SOLIABLE	Compuerta (cuña sólida)	1/2" a 2"	600#, tornillo exterior y yugo, casquete atornillado.	ASTM A 105 Gr. 11 ó ASTM A 216 Gr. WBC.
	Globo (Disco suelto)	1/2" a 2"	600#, tornillo exterior y yugo, casquete atornillado.	Interiores: 12% Cr. Asiento ó disco endurecido para --
	Retención (Bola vertical)	1/2" a 2"	600#, tapa atornillada.	compuerta y globo.
	Retención (Bola horizontal)	1/2" a 2"	600#, tapa atornillada.	
CONEXIONES	Inserto soldable	1/2" a 2"	3000#. Las tuercas unión serán con asiento integral.	ASTM A 234 Gr. WPB
JUNTAS	Mantenimiento	1/2" a 2"	Tuerca Unión	
	Normal	1/2" a 2"	Coples	
CONEXIONES INSTRUMENTOS	Presión	3/4"	3000#, inserto soldable.	
	Temperatura	1"	N.P.T.	

e.2. Los trazados de vapor estarán de acuerdo a la siguiente especificación de materiales.

Limitaciones: Presión,  $10.6 \text{ Kg/cm}^2$  Man. ( $150 \text{ lb/in}^2$  Man)

Temperatura,  $190^\circ\text{C}$  ( $375^\circ\text{F}$ ).

CONCEPTO	DIAMETRO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
Tubo Flexible	1/4" D.E. 3/8" D.E. 1/2" D.E. 5/8" D.E. 3/4" D.E.	Cobre sin costura, recocido suave.  0.032" pared 0.035" pared 0.049" pared 0.065" pared 0.065" pared	ASTM B68 ó B75.
Conexiones	1/4" a 3/4"	Bronce	
Trampas	1/2" N.P.T.	Termodinámica, cuerpo de acero inoxidable.	
Filtros	1/2" N.P.T.	Tipo "Y", cuerpo de acero fundido, colador de malla # 20 de Monel, suministrado con tapón de desfogue.	

Para temperaturas arriba de  $190^\circ\text{C}$  ( $375^\circ\text{F}$ ), se usará tubo de cobre flexible, según especificación ASTM A 179.

Cuando existen vapores corrosivos circundantes, se aplicará la siguiente especificación de materiales.

CONCEPTO	DIAMETRO	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
Tubo flexible	1/2" D.E.	Acero inoxidable sin costura, espesor de pared 0.019"	Gr. TP 304
Conexiones	1/2"	Acero inoxidable	Gr. TP 316
Trampas	1/2" N.P.T.	Termodinámica, cuerpo de acero inoxidable.	
Filtros	1/2" NP.T.	Tipo "Y", cuerpo de acero fundido, colador de malla # 20 de acero inoxidable suministrado con tapón de desfogue.	

f) Número de trazados requeridos.

f.1 Los trazados se instalarán de acuerdo con lo siguiente:

Diámetro de la tubería	Número de Trazados requeridos
4" y menores	1
6" a 16"	2
18" y mayores	3

g) Longitud de los trazados.

g.1 Los trazados sencillos o múltiples, se instalarán de --

acuerdo con lo siguiente:

Presión del Vapor		Longitud del trazado	
Kg/cm <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>	metros	Ft
3.5	50	37.5	125
7.1	100	45.0	150
10.6	150	52.5	175
14.1	200	60.0	200
17.6	250	67.5	225
21.2	300 y mayor	75.0	250

- g.2 Estas longitudes están calculadas considerando tubo flexible de 1/2" de diámetro, para tubo flexible de 3/8",- multiplicar por 0.75 dichas longitudes.
- g.3 Estas longitudes aplican únicamente cuando la trampa -- descarga a sistemas abiertos. Para sistemas cerrados - de retorno de condensados se reducirá la longitud del - trazado aproximadamente 1 m (3 ft) por cada 0.07 Kg/cm<sup>2</sup> (1 lb/in<sup>2</sup>) de contrapresión en la trampa.
- g.4 Cuando los trazados de vapor se coloquen alrededor de - válvulas, bridas, etc., y formen bolsas considerables,- el espaciamiento máximo de las trampas a lo largo del - trazado será de dos terceras partes los valores dados - en la tabla anterior.

h) Arreglo de trampas.

h.1 Las trampas serán del tipo termodinámico, como se especifica en la clasificación de materiales para trazado de vapor en el párrafo (3.8.4, e.2). Estas trampas se usarán para presiones de  $0.35 \text{ Kg/cm}^2 \text{ Man.}$  ( $5 \text{ lb/in}^2 \text{ Man.}$ ) a  $42.3 \text{ Kg/cm}^2 \text{ Man.}$  ( $600 \text{ lb/in}^2 \text{ Man.}$ ), donde los sistemas cerrados de retorno de condensados no causen contrapresiones en la trampa, arriba del 80% de la presión de entrada de la misma. Las trampas del tipo de cubeta se usarán para presiones menores o contrapresiones excesivas.

h.2 La instalación se proyectará de tal manera que permita desmontar o reparar fácilmente la trampa. Para arreglos típicos de trampas, ver Figs. (3.8.6) y (3.8.7).

h.3 Para sistemas cerrados de condensados, con o sin contrapresión, las trampas se localizarán cerca y arriba del cabezal de retorno, ver Fig. (3.8.7).

h.4 Para sistemas abiertos de condensados, se localizarán -- las trampas cerca del punto de descarga, de tal manera que el condensado sea drenado libremente por el lado de descarga de la trampa, ver Fig. (3.8.6). Las trampas termodinámicas tendrán el disco en el plano vertical.

i) Colección de condensados.

i.1 El cabezal de condensado de los trazados se localizará a una elevación tal, que permita el flujo por gravedad de todas las líneas de retorno de condensado de los trazados.

j) Chimenea de Venteo.

j.1 Las líneas de retorno y cabezales de condensados de los trazados que descarguen a un drenaje dentro de límites de batería o áreas de operación se conectarán a un tubo vertical con ventilación como se muestra en la Fig. - - (3.8.5).

k) Filtros.

k.1 Antes de cada trampa se colocará un filtro del tipo y material especificado en la clasificación de materiales para trazado de vapor en el párrafo (3.8.4, e.2), también se pueden usar trampas con filtro de construcción integral.

l) Fijación.

l.1 Los trazados de vapor se fijarán a los tubos mediante alambre de hierro galvanizado recocido del No. 16(0.065") con una separación de 600 mm entre centros aproximadamente.

m) Curvas de Expansión.

m.1 Las curvas de expansión se localizarán a intervalos de 1500 mm aproximadamente. Las conexiones a válvulas, --bridas, etc., así como los cambios de dirección, se aprovecharán como curvas de expansión, ver Fig.(3.8.4).

n) Soportes.

n.1 Toda la tubería y tubo flexible, incluyendo líneas de suministro a los trazados y líneas de retorno de condensado, para propósitos de calentamiento, se soportarán adecuadamente en el campo.

o) Diámetro del Aislamiento.

o.1 El diámetro del aislamiento será mayor al nominal de la tubería.

La siguiente tabla muestra la selección del diámetro del aislamiento necesario para sistemas con trazado de vapor de 3/8" y 1/2" de diámetro.

Diámetro de la tubería por aislar (nominal)	Diámetro del Aislamiento			
	Un trazado		Dos trazados ó más	
	3/8"	1/2"	3/8"	1/2"
1/2"	1"	1 1/4"		
3/4"	1 1/4"	1 1/4"		
1"	1 1/2"	1 1/2"		
1 1/2"	2"	2 1/2"		
2"	2 1/2"	3"		
2 1/2"	3"	3"		
3"	3 1/2"	3 1/2"		
4"	5"	5"		
6"	8"	8"	8"	8"
8"	10"	10"	10"	10"
10"	12"	12"	12"	12"
12"	14"	14"	14"	14"
14" y mayor	un diámetro nominal mayor que el diámetro del tubo.			



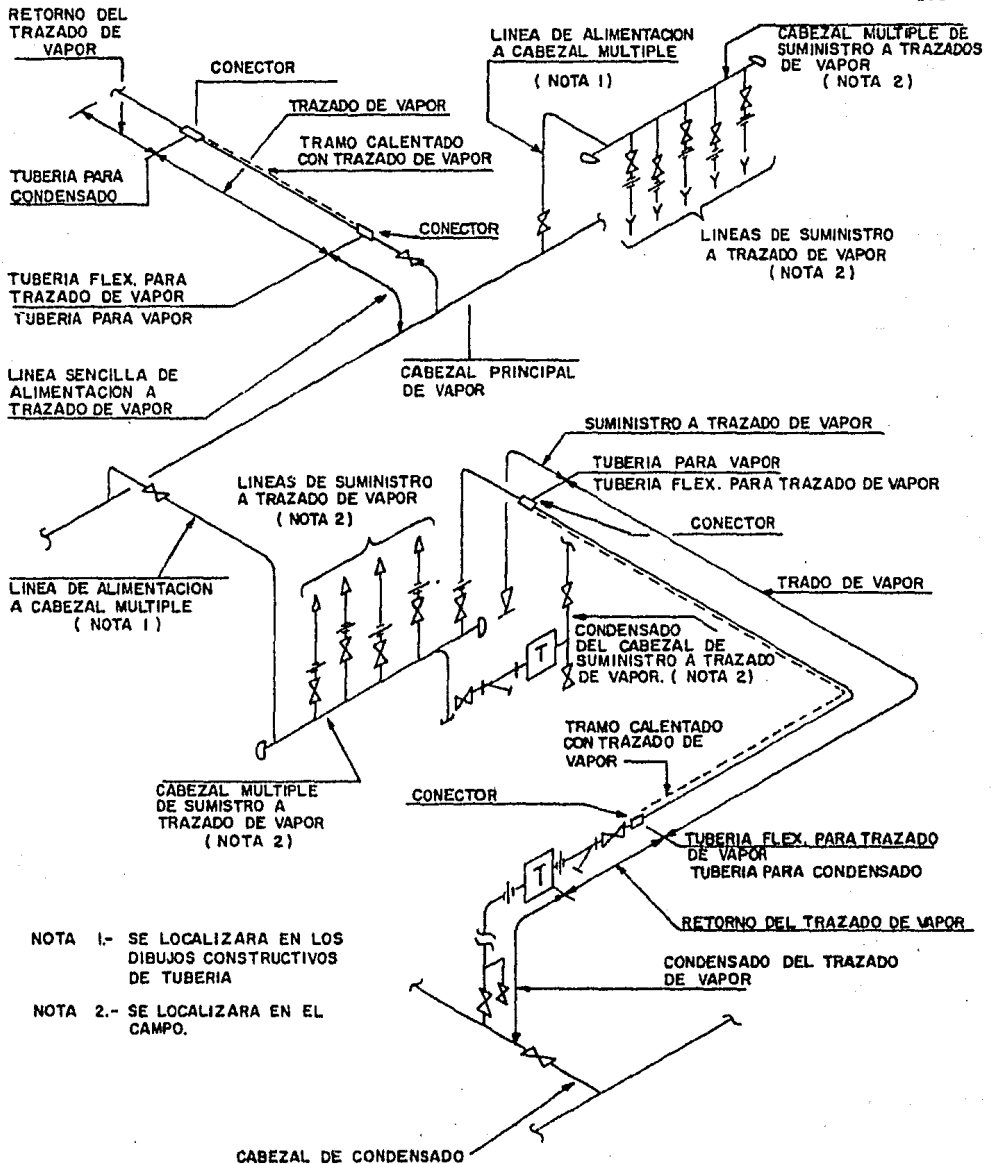


FIG. 3.8.1 TERMINOLOGIA E INSTALACION DE TRAZADO DE VAPOR.

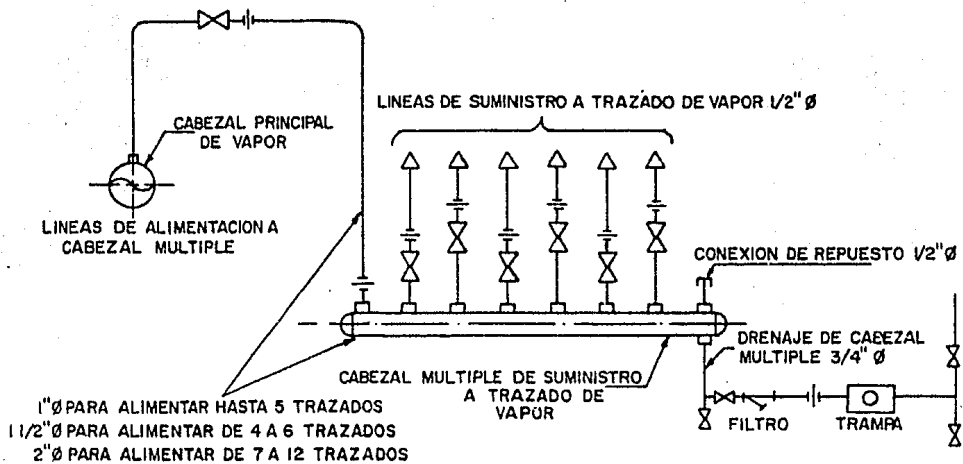


FIG. 3.8.2 DETALLE TIPICO DE CABEZALES MULTIPLES DE SUMINISTRO A TRAZADOS DE VAPOR.

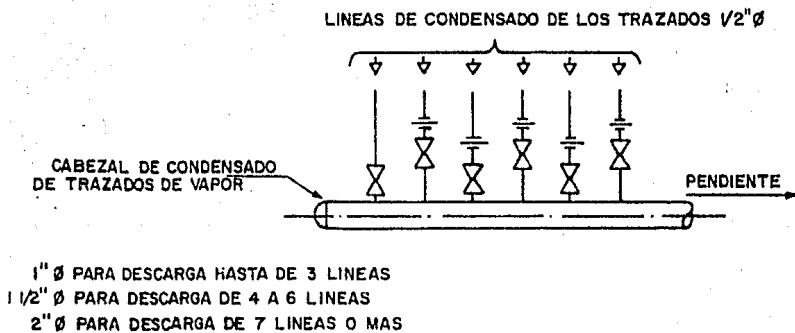


FIG. 3.8.3 DETALLE TIPICO DE CABEZALES DE CONDENSADO DE TRAZADOS DE VAPOR.

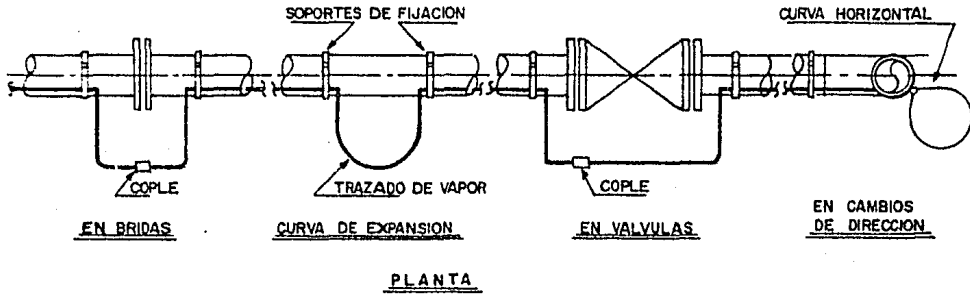


FIG. 3.8.4 DETALLE TIPICO DE CURVAS EN TRAZADO DE VAPOR.

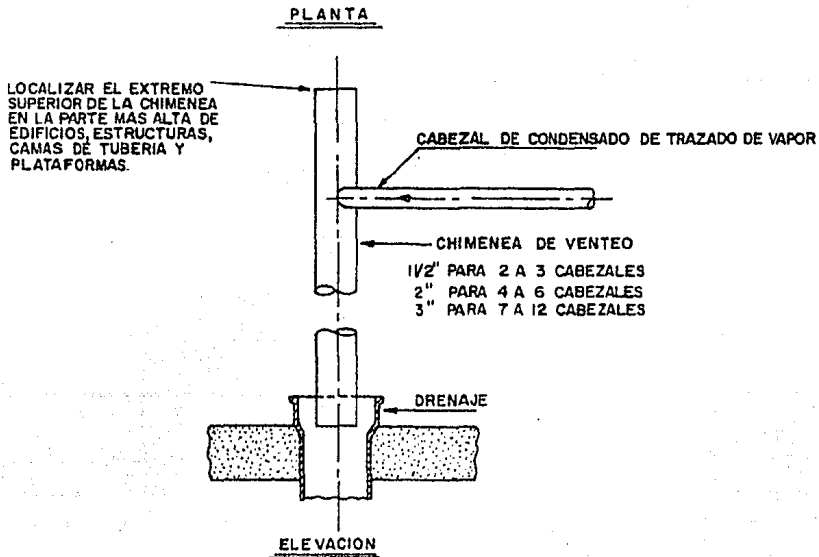


FIG. 3.8.5 DETALLE TIPICO DE CHIMENEAS DE VENDEO.

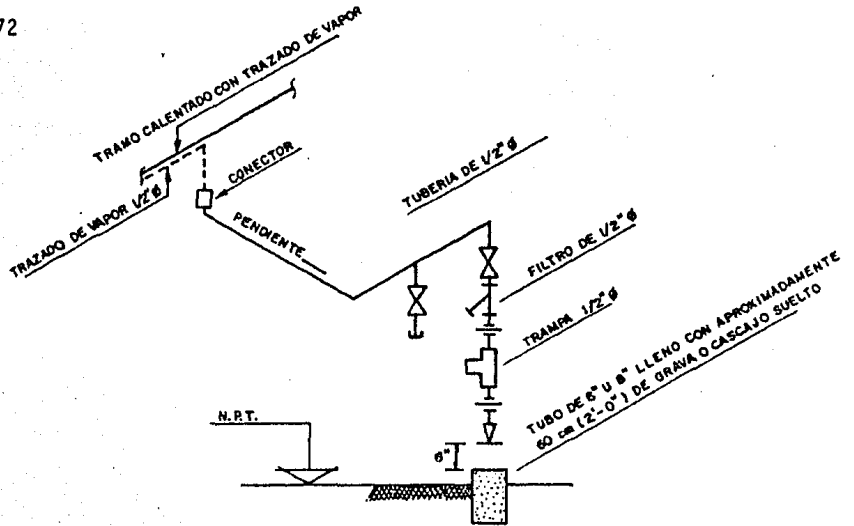


FIG. 3.8.6 DETALLE TÍPICO DE ARREGLO DE TRAMPAS  
(DESCARGA A SISTEMA ABIERTO).

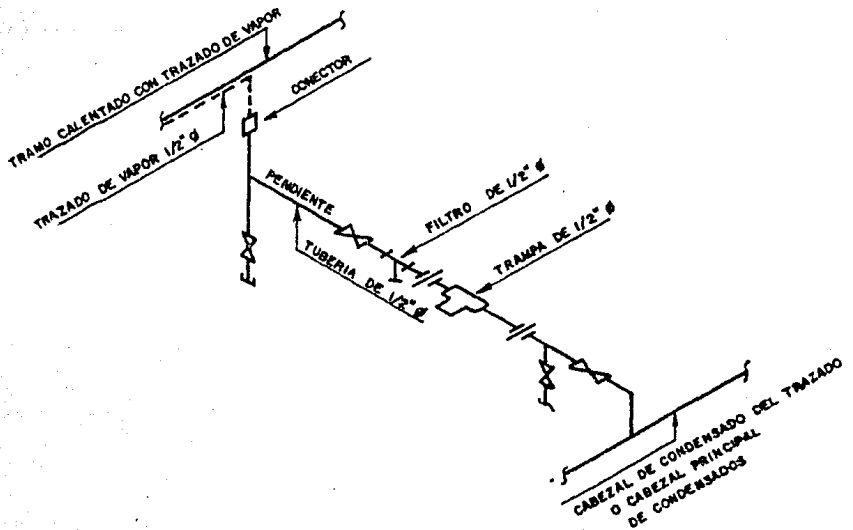


FIG. 3.8.7 DETALLE TÍPICO DE ARREGLO DE TRAMPAS  
(DESCARGA A SISTEMA CERRADO).

### 3.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRAZADO DE VAPOR.

Aquí se muestran las ventajas y desventajas más importantes de cada tipo de vapor.

#### 3.9.1 Trazado Externo.

##### Ventajas:

1. Bueno para el trazado de válvulas, bombas y accesorios.
2. Util para pequeñas cargas de calor ya que puede ser empleado un solo trazado.
3. Puede usarse tubo de cobre o acero para el trazado.
4. Fácil limpieza de la tubería de proceso.
5. Fácil instalación del trazado.
6. El trazado es de diámetros pequeños.

##### Desventajas:

1. El área de contacto entre el trazado y la tubería es pequeña.
2. Para aumentar la eficiencia del trazado, debe usarse un elemento que transfiera calor.
3. La longitud del trazado está limitada debido a caídas de presión.
4. Para grandes diámetros de tubería de proceso, se requiere de un trazado múltiple, ya que se necesitan grandes cargas de calor.
5. Para grandes cargas de calor uniformes es necesario colocar el trazado en forma de serpentín alrededor de la tubería de proceso.

### 3.9.2 Trazado Enchaquetado con Tubería Externa,

#### Ventajas:

1. Buen control de la temperatura.
2. Buena limpieza del enchaquetado y la tubería de proceso.
3. Puede usarse tubería de acero para el enchaquetado.

#### Desventajas:

1. Complicado el enchaquetado de accesorios.
2. No es fácil formar o doblar la tubería de acero.

### 3.9.3 Trazado Interno.

#### Ventajas:

1. Calentamiento uniforme del fluido de proceso.
2. Suministra calor adicional al fluido de proceso.
3. Puede combinarse un serpentín con el trazado recto para permitir una expansión térmica.
4. Se usa un solo trazado al centro de la tubería de proceso.
5. Puede usarse tubo de cobre o acero para el trazado.
6. En válvulas y accesorios el trazado puede ser interrumpido y llevado fuera.
7. Puede emplearse tubería de aluminio integrada a la tubería de proceso.

#### Desventajas:

1. Se reduce el diámetro equivalente interno de la tubería de proceso cuando se usan grandes diámetros de trazado.

2. Dificultad en la limpieza de la superficie sucia de transferencia de calor. (Difícil limpieza de trazado cuando se usan espirales o serpentines).
3. Se usan longitudes cortas de trazado, para evitar problemas de soporte.
4. Si no se instala adecuadamente, pueden existir fugas que contaminen el producto.
5. No es recomendable para fluidos de proceso a presiones altas, especialmente gases.

CAPITULO IV

TRAZADO ELECTRICO



#### 4.1 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO ELECTRICO. <sup>41,46</sup>

Existen diversos métodos que utilizan energía eléctrica para suministrar calor a una tubería de proceso. Los dos más comunes son: Calentamiento con Resistencia y por Inducción. El calentamiento con resistencias se produce por la aplicación directa de un voltaje a un resistor. Cuando el resistor es la misma tubería se tiene un trazado con resistencia directa y cuando el resistor es un cable, cinta o banda de calentamiento se tiene un trazado con resistencia indirecta. Los sistemas de calentamiento por inducción trabajan sobre el principio en el cual ocurren disturbios en la estructura molecular de los materiales, causados por variaciones en el campo magnético, los cuales producen calor.

El calentamiento eléctrico no es tan común como el calentamiento con vapor. El calentamiento eléctrico tiende a ser más popular en el futuro a medida que se reduzcan los costos del sistema.

Las ventajas más importantes de este sistema son:

- a) Sistema limpio, ya que no contamina al fluido de proceso.
- b) Existe un control adecuado de la temperatura, ya que se efectúa con la ayuda de termostatos.
- c) Solo emplean la energía necesaria.
- d) No se congelan en climas fríos.

Sus desventajas son:

- a) Se requiere desmantelar el aislante para hacer reparaciones.

- b) La tubería debe estar claramente identificada por seguridad.
- c) Se requieren múltiples trazados para grandes cargas de calor.

#### 4.2 CALENTAMIENTO CON RESISTENCIAS.

El calentamiento con resistencias eléctricas en tuberías no es nuevo, - pero no tiene gran aceptación en las plantas de proceso debido a que:

- 1) Es más costoso que un trazado de vapor.
- 2) Resistencias como cables, cintas y bandas de calentamiento, así como controles termostáticos son costosos y poco seguros, y las técnicas para su instalación pueden ser lentas en su desarrollo.
- 3) Los costos de diseño e ingeniería para el sistema de calentamiento-eléctrico se consideran elevados.

La ecuación básica que describe el flujo de corriente a través de un -- conductor es:

$$\text{Razón de Flujo} = \frac{\text{Fuerza Manejada}}{\text{Resistencia}} \quad (4.2.1)$$

Como se observa, esta ecuación es la Ley de Ohm, la cual indica que:

$$I = \frac{E}{R} \quad (4.2.2)$$

Donde:

I = Flujo de corriente o razón de flujo de electricidad, en amperes.

E = Voltaje aplicado o fuerza eléctrica manejada, en volts.

R = Resistencia al flujo de la corriente eléctrica, en ohms.

La conversión de la energía eléctrica en calor en un resistor se cono

ce como efecto  $I^2R$ . La razón de energía se expresa en \*watts cuando I está en amperes y R en ohms. Así el calor disponible por unidad de tiempo con un calentamiento con resistencia se expresa en la siguiente forma:

$$Q = 3.415 I^2 R = \frac{3.415 E^2}{R} \quad (4.2.3)$$

Donde; Q está en Btu/hr, I en amperes, E en volts y R en ohms.

La ecuación (4.2.3) puede ser escrita en términos de transferencia de calor por unidad de longitud del resistor, esto es:

$$\frac{Q}{L} = 3.415 I^2 \left( \frac{R}{L} \right) \quad (4.2.4)$$

y

$$\frac{Q}{L} = \frac{3.415 E^2}{R L} \quad (4.2.5)$$

Para una tubería,  $Q/L$  se expresa normalmente en Btu/hr-ft.

Esta última ecuación se acostumbra escribirla en la siguiente forma:

$$\frac{Q}{L} = 3.415 \left( \frac{E}{L} \right)^2 \left( \frac{L}{R} \right) \quad (4.2.6)$$

Donde:  $E/L$  está en volts/ft que es la fuerza eléctrica manejada por el resistor, y  $L/R$  es la resistencia en ohms/ft del resistor.

\* 1 watt = 3.415 Btu/hr.

### 4.3 TIPOS DE TRAZADO ELECTRICO,

#### 4.3.1 Trazado con Resistencia Directa.

El trazado con resistencia directa es un método que se utiliza para mantener temperaturas dentro de una tubería de proceso, pasando una corriente eléctrica a través de la misma. El calor generado por el efecto  $I^2R$  se usa para compensar las pérdidas de calor en el sistema. La corriente eléctrica se suministra por generadores de corriente directa o transformadores estándar. Puesto que la tubería lleva una corriente activa, existe un constante peligro de corto circuito, esto se debe a que se usan bajos voltajes en el rango de 40 a 60 volts, lo cual hace necesario el uso de altos amperajes en los generadores y transformadores.

La cantidad requerida de energía eléctrica para mantener la temperatura en una tubería, depende de los siguientes factores:

- 1) Temperatura a la cual se debe mantener el fluido.
- 2) Temperatura ambiente.
- 3) Longitud y diámetro de la tubería.
- 4) Resistencia eléctrica de la tubería.
- 5) Espesor y conductividad térmica del aislante.

Los requerimientos de voltaje y amperaje son calculados de la siguiente manera:

- 1) Determinar las pérdidas de calor por pie de tubería aislada.

La relación de calor  $Q/L$  es equivalente al de las ecuaciones

(4.2.4) y (4.2.5) para mantener la temperatura requerida de la tubería de proceso..

- 2) Encontrar la resistencia eléctrica de la tubería en ohms. - La tabla (4.3.1) muestra valores de resistencia en ohms por pie de tubería cédula 40 para varios materiales y para diámetros de 1/2 a 6 pulgadas.
- 3) Calcular el amperaje con la ecuación (4.2.4). El rango normal de corriente es de 300 a 500 amperes.
- 4) Calcular el voltaje por pie de tubería ( $E/L$ ) usando la ecuación (4.2.6) o usando la Ley de Ohm con el amperaje y la resistencia de la tubería en ohms por pie.
- 5) Obtener el voltaje sobre la longitud total de la tubería multiplicando ( $E/L$ ) ya encontrado, por la longitud de la tubería).

Diámetro de la tubería (in)	Material de la Tubería			
	Hierro Forjado	Acero	Tubo de cobre flexible	Hierro Fundido
	Resistencia R (Ohms/ft de tubería, 60°F) $\times 10^5$			
1/2	26.00	19.80	8.24	-
3/4	20.20	14.90	4.45	-
1	13.80	10.00	3.40	-
1 1/2	8.42	6.18	2.08	-
2	6.25	4.60	1.33	-
4	-	-	-	9.20
6	-	-	-	6.00

Tabla (4.3.1) Valores de resistencia para varios materiales.

#### 4.3.2 Trazado con Resistencias Indirectas.

El principio de calentamiento con resistencia directa es el mismo que para el de resistencias indirectas ya que el efecto de calentamiento  $I^2R$  de una corriente eléctrica en un resistor se usa para compensar las pérdidas de calor de la tubería. En el calentamiento con resistencia directa, la tubería se usa por si misma como un resistor. En cambio, en el de resistencias indirectas, la corriente eléctrica se hace pasar a través de un resistor, el cual se encuentra completamente aislado de la tubería. Los resistores más comúnmente usados para el calentamiento con resistencias indirectas son:

- a) Cables.
- b) Cintas y Bandas.

La temperatura máxima de operación para un cable, cinta o banda está determinada por el punto de fusión de cualquiera de los materiales o del aislamiento. En la mayoría de los casos, el aislamiento tiene menor punto de fusión por lo que es el factor limitante.

- a) Cables de Calentamiento. Son resistores útiles para servicios de baja temperatura, pueden estar aislados con plástico u otros materiales orgánicos. La energía de salida está restringida en un rango de 5 a 10 watts/ft. Los cables con aislantes minerales se usan para grandes cargas de calor, estos se conocen comúnmente como cables MI, los cuales consisten-

de dos resistores de alambre desnudo colocados en una chaqueta de cobre. El espacio sobrante se llena con un material aislante refractario como el óxido de magnesio, el cual separa y aísla las dos resistencias de alambre y la chaqueta de cobre. Los dos alambres se unen en un solo cable en su extremo final y se conectan a la fuente de energía en el otro extremo. Un circuito cerrado se forma como se muestra en la figura (4.3.1).

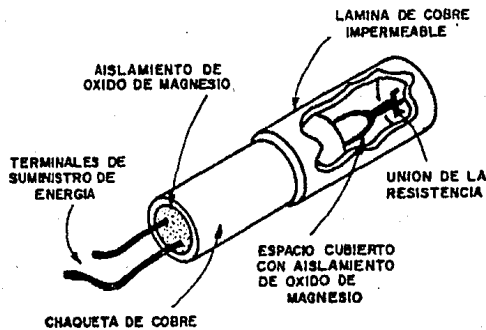


FIG. 4.3.1 CONSTITUCION DE UN CABLE DE CALENTAMIENTO.

Los cables MI no involucran graves peligros, ya que la chaqueta de cobre funciona como tierra eléctrica. De aquí que se reduzca la posibilidad de grandes descargas eléctricas. Los cables MI son relativamente flexibles ya que pueden ser doblados sobre sistemas de tubería de moderada irregularidad. La temperatura máxima de trabajo para un cable MI es de 475°F,



sín embargo, algunos fabricantes recomiendan temperaturas -- máximas de 350°F.

Debe tomarse precaución cuando se unen longitudes de este tipo de cable. Se requiere de una caja de unión y el área de unión se debe hacer herméticamente. Esta recomendación también se debe seguir cuando se usa cable estándar. Fallas en la unión ocasionan que muchos cables se quemen. Este tipo de uniones solo se recomiendan cuando sean absolutamente necesarias.

Muchos de los problemas asociados con un trazado de vapor externo, se tienen también con cables MI. Es de práctica común, correr el cable paralelamente a la superficie externa de la tubería. La línea de contacto entre el cable y la pared de la tubería proporciona una área muy pequeña para la transferencia de calor por conducción. Como en el caso del trazado de vapor, una cubierta externa sobre la tubería y el trazado disminuyen las pérdidas de calor.

Los cementos que transfieren calor, se usan frecuentemente para incrementar el área de transferencia de calor. El uso de un cemento junto con un aislante externo sobre la tubería y el trazado, aumentan la eficiencia del sistema.

Ocasionalmente, el cable MI se corre internamente a través -

del centro de la tubería en contacto directo con el fluido de proceso. Esto se considera una mala práctica dado que existe la posibilidad de que el cable se quemé. Reemplazar un cable defectuoso en este caso, involucra el problema de desmantelar la tubería.

Los requerimientos de energía para cables MI se calculan en la misma forma que para calentamiento con resistencia directa. La resistencia del cable MI se usa en la ecuación (4.2.3) en lugar de la resistencia de la tubería. Los datos de resistencia para los cables MI y otros tipos pueden ser obtenidos de varios fabricantes.

Recientemente se han desarrollado controles termostáticos de contacto superficial para cables de calentamiento. El elemento sensor de temperatura es bordeado en la tubería y el mecanismo sobresale a través del aislante térmico. Estos dispositivos hacen posible precisar el control de calentamiento y algunas veces protegen al cable de posibles destrucciones por sobrecalentamiento. Debido a esto, la energía eléctrica se usa solo cuando es necesaria.

- b) Cintas y Bandas de Calentamiento. Para solucionar el problema de pequeñas áreas de transferencia de calor asociadas con los cables, se utilizan cintas y bandas de calentamiento-

comparativamente más anchas. Estas tienen la ventaja adicional sobre los cables de ser extremadamente flexibles.

El uso de cintas está limitado para corridas sobre tubería recta y para curvas que ocurren en un solo plano, las cuales se colocan y se sujetan en intervalos de un pie.

Las bandas de calentamiento, consisten de dos tiras de cobre separadas por una lámina de grafito-sílica de alta resistencia. Este ensamble se realiza sobre dos capas intercaladas de asbesto sobre el exterior, en el cual se envuelven con un aislante orgánico inerte tal como el teflón. Estas bandas tienen 3 1/2 pulgadas de ancho y solamente 1/32 pulgadas de espesor, lo cual les da flexibilidad y gran área de contacto para la transferencia de calor.

Las bandas generan calor en forma constante a través de toda su longitud. Esto se debe a que la lámina de grafito-sílica conduce como un gran número de alambres de idéntica resistencia conectados en paralelo entre dos electrodos de cobre. -- Por lo tanto, el calor de salida de cada resistencia de alambre es el mismo, independientemente de la longitud de la banda para un voltaje constante a través de las tiras de cobre.

Se tienen dos clases de bandas: Unas con un diseño de ener

gía en un rango de 16 watts/ft y las otras con un diseño en un rango de 5.3 watts/ft. Para las bandas de 16 watts/ft, cualquier combinación de longitudes que no sobrepase los 100 pies puede ser usada en circuitos simples. Para longitudes individuales, se conectan usando terminales tipo bayoneta y pueden ser equipadas con desconectores rápidos para facilitar el desmantelamiento de secciones de trazado de tubería realizado con este tipo de bandas. Un total de 600 pies de banda de 16 watts/ft o 1500 pies de banda de 5.3 watts/ft pueden controlarse con un termostato simple y una fuente de energía, esto se muestra en la figura (4.3.2)..

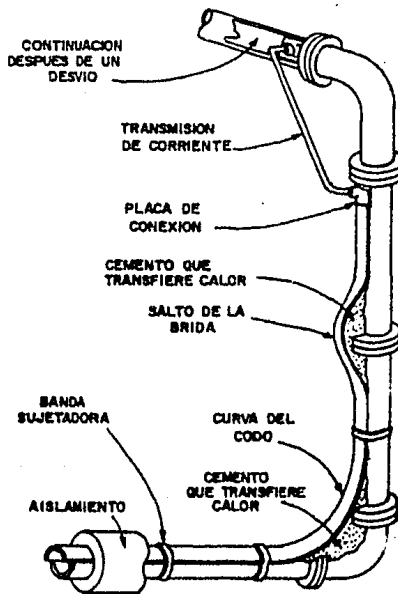
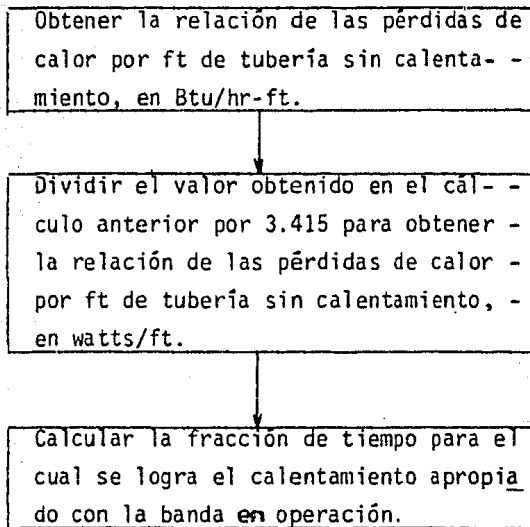


FIG. 4.3.2 METODO DE INSTALACION DE UNA BANDA DE CALENTAMIENTO.

Los requerimientos de energía y operación de las bandas se calculan de la siguiente manera:



Las bandas de calentamiento operan con una energía de salida constante. Esta relación de pérdidas de calor por ft de tubería en watts/ft es menor que el rango constante de energía para las bandas, así que se requiere una operación intermitente. Esta operación intermitente se controla con el uso de un termostato. Si la relación de las pérdidas de calor por ft de tubería es mayor que la relación de energía de las bandas, se pueden usar otras bandas de calentamiento paralelamente, o bien, pueden enrollarse en forma de espiral alrededor de la tubería.

## Ejemplo (4.3.1)

Una tubería de acero de 2" de diámetro cédula 40, maneja un líquido a 300°F. La longitud total de la tubería es de 200-ft. La tubería está cubierta con un aislante de 1" de espesor que tiene una conductividad térmica de 0.01 Btu/hr ft<sup>2</sup> - °F/ft. Se desea mantener el fluido de proceso a una temperatura de 300°F usando una banda de calentamiento. La temperatura ambiente es de 70°F. Encontrar la cantidad requerida - y tipo de banda calentamiento, así como la fracción de tiempo para la cual la banda está en operación.

- Cálculo de las pérdidas de calor por ft de tubería para la tubería aislada.

Con las condiciones de operación y empleando las ecuaciones para la transferencia de calor en forma iterativa, se encuentra que  $Q/L = 22.3$  Btu/hr-ft.

- Cálculo de la relación de las pérdidas de calor por ft de tubería sin calentar en watts/ft.

$$\frac{22.3 \text{ Btu/hr-ft}}{3.415 \frac{\text{Btu/hr}}{1 \text{ watt}}} = 6.54 \text{ watts/ft}$$

- Para la banda con una relación de diseño de energía de 16-watts/ft, la fracción de tiempo durante la cual la banda de calentamiento está en operación es la siguiente:

$$\frac{6.54 \text{ watts/ft}}{16 \text{ watts/ft}} = 0.409 \times 60 \text{ minutos} = 24.5 \text{ min.}$$

Entonces, el termostato activará la banda 24.5 minutos por cada hora para mantener la temperatura de la tubería a 300 °F. Como se tienen 200 ft de tubería, se requieren dos bandas para cumplir con la longitud máxima recomendada de 100 ft de longitud por banda.

En contraste con las bandas, las cintas de calentamiento operan en forma similar a los cables. La resistencia eléctrica total de una cinta, es la resistencia por pie multiplicada por la longitud de la cinta. El cálculo de los requerimientos de energía para cintas, es igual que para los cables.

Como ya se mencionó anteriormente, las cintas de calentamiento son generalmente flexibles y se pueden usar para trazar sistemas de tubería con irregularidades extremas. Estas cintas se colocan y se sujetan sobre la tubería de proceso en intervalos de un pie.

La cinta de calentamiento es probablemente el método más usado en su tipo para el calentamiento de superficies de tubería.

La cinta consiste de un elemento resistor aislado, ajustado-

a un conductor flexible formando una unidad completa de calentamiento. Por su flexibilidad, las cintas son de fácil instalación en forma de espiral en tuberías donde existen codos, tes, cruces, bridas y válvulas. Con la forma en espiral, se obtienen grandes cargas de calor por pie de tubería.

En general, las cintas se emplean para mantener una temperatura dentro de la tubería, compensando pérdidas de calor, pero también se pueden instalar para elevar temperaturas de fluidos.

El rango de trabajo de las cintas puede adaptarse para su funcionamiento a diversas condiciones y ser protegidas contra: agua para sistemas externos de tubería; agua y daños mecánicos o de corrosión; fuego de acuerdo a las diferentes divisiones de áreas calificadas como peligrosas. Se pueden usar sin protección contra agua en interiores.

- a) Protección contra la humedad para temperaturas máximas en la tubería de 100°F. Se adaptan para protección contra congelamiento. Es importante notar que la capa aislante por si sola no puede prevenir a la tubería contra el congelamiento, - esta solo puede retardarlo.
- b) Protección contra la humedad para temperaturas máximas en la tubería de 400°F y una amplia aplicación para temperaturas -



medias de trabajo, incluyendo aceites combustibles, parafinas de alta temperatura, etc.

- c) Protección contra la humedad para temperaturas máximas en la tubería de 400°F y con protección adicional (de acero inoxidable como envoltura) contra daños mecánicos y corrosión.
- d) Sin protección contra la humedad para interiores usando una temperatura máxima en la tubería de 800°F y temperaturas en exceso de 300°F.
- e) Sin protección contra la humedad para interiores usando temperaturas máximas en la tubería de 1500°F, para casos especiales de alta temperatura como por ejemplo: tuberías que manejan sodio en instalaciones nucleares.
- f) Protección contra la humedad y fuego para temperaturas máximas en la tubería de 650°F y diseñada con requerimientos especiales en áreas peligrosas interiores y exteriores.
- g) Protección contra la humedad y fuego para temperaturas máximas en la tubería de 800°F. Los accesorios con una envoltura de acero inoxidable permiten mantener temperaturas arriba de 1200°F.

Existe una forma rápida para calcular los requerimientos de energía para las cintas de calentamiento, para esto, se requiere la siguiente información:

1. Diámetro de la tubería.
2. Espesor del aislante térmico
3. Detalles de operación tales como:

- a) Para aplicaciones generales. Cuando se requiere mantener solo la temperatura dentro de la tubería de proceso, esta debe ser expresada como una temperatura arriba de la ambiente.
- b) Para protección contra congelamiento, se debe de anticipar la mínima temperatura ambiente.
- c) Para aplicaciones de aceite combustible, las temperaturas que deben mantenerse serán expresadas como la diferencia entre la máxima temperatura ambiente y la temperatura a la cual el aceite se mantiene dentro de la tubería.

El uso de la figura (4.3.3) es un método rápido para conocer la carga eléctrica del sistema de tubería con cintas de calentamiento. Esta figura deberá ser corregida por espesor de la capa aislante y para este propósito, la carga deberá ser multiplicada por el factor de aislamiento apropiado mostrado en la tabla (4.3.2).

La gráfica y la tabla están basadas en una capa aislante -- que tiene una conductividad térmica de  $0.4 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F/in}$  ó  $0.6 \text{ watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C hr}$  aproximadamente a  $302^\circ\text{F}$  ( $150^\circ\text{C}$ ).

#### Ejemplo (4.3.2)

Se desea mantener un líquido a  $100^\circ\text{F}$  con una temperatura am

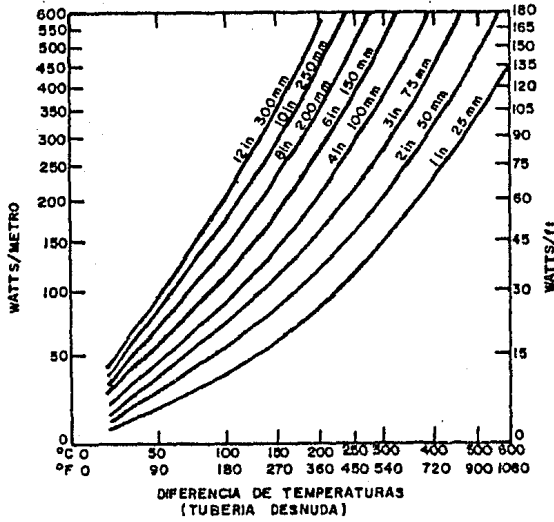


FIG. 4.3.3 CARGA ELECTRICA.

Temperatura de Operación	Espesor del Aislante				
	1 in (26 mm)	1 1/2 in (38 mm)	2 in (51 mm)	3 in (76 mm)	4 in (102 mm)
0 a 150°C	1	0.8	0.7	*	*
150 a 300°C	*	0.8	0.7	0.5	*
300 a 600°C	*	*	0.7	0.5	0.4

\* No se recomienda usar factor.

Tabla (4.3.2) Factores de corrección por aislamiento térmico.

biente mínima de 23°F en una tubería de 4 pulgadas.

Se tiene una diferencia de temperaturas de 77°F, en la escala horizontal de la figura (4.3.3) se sube hasta la curva de 4 - in de diámetro y se lee el valor, el cual es 12 watts/ft. Aplicando 1 1/2 pulgadas de espesor de aislante térmico (Factor de corrección = 0.80), por tanto la carga será 12 watts/ft X 0.80 = 9.6 watts/ft.

Se recomienda que las cintas de calentamiento eléctrico sean siempre operadas por medio de controles termostáticos. Esto evita sobrecalentamiento del contenido de la tubería y reduce costos al sistema.

El rango de los controles termostáticos está disponible para satisfacer todas las aplicaciones de las cintas, incluyendo tipos certificados en áreas con protección contra fuego. Existen termostatos para protección contra congelamiento y termostatos para controlar el calor en la tubería. Puede darse protección adicional con la instalación de interruptores de circuito conectados a tierra, esto evita posibles daños en los aparatos eléctricos.

La eficiencia de una cinta de calentamiento puede incrementarse con el uso de cementos que transfieren calor y alguna otra

cubierta aislante exterior. Para grandes cargas de calor, se pueden usar más cintas en paralelo o bien, la cinta puede enrollarse en forma de espiral alrededor de la tubería, esto incrementa el área de transferencia de calor por pie de tubería. Si se usa una sola cinta en paralelo con la tubería, cuando se requieren grandes cargas de calor, el riesgo de quemado es mucho mayor que con más cintas en paralelo o enrolladas.

#### 4.3.3 Trazado por Inducción.

El principio de calentamiento por resistencias es la conversión de la energía eléctrica a energía calorífica en un resistor a través del efecto  $I^2R$ . El calentamiento por inducción también opera sobre el principio  $I^2R$ . Sin embargo en este caso, la corriente de calentamiento es inducida y fluye a lo largo de la parte exterior de la tubería. El espiral de alambre enrollado y corriente alterna rodean la tubería en intervalos regulares. Se alcanzan temperaturas hasta de 300°F, cuando los espirales se colocan sobre la tubería con un pequeño espacio de aire entre ambos. Para altas temperaturas se coloca un aislante entre la espiral y la tubería. La corriente alterna en las espirales genera un cambio rápido en el campo magnético, lo cual induce una corriente en la tubería, en la misma forma en que lo hace un transformador. Sin embargo, el material de la tubería debe ser Ferromagnético. Entonces, la corriente inducida en la tubería fluye hasta el otro extremo, por lo que el calor viaja por conducción en el volumen de

la tubería.

La corriente inducida es una función de la frecuencia de la corriente alterna en las espirales de alambre, del número de vueltas de la espiral, del aire atrapado entre la espiral y la tubería. Por lo general, las espirales son colocadas alrededor de la tubería en intervalos de un ft. Una chaqueta exterior de cloruro de polivinilo (PVC) se ajusta sobre la tubería de proceso y el espacio existente se llena con espuma de Poliuretano.

Cada espiral se sella completamente, excepto los puntos donde salen las guías eléctricas. Las espirales se colocan para operar en serie con los voltajes disponibles. Para suministrar 110 volts, cada circuito consistirá de 10 espirales de 11 - - volts cada una y para suministrar 220 volts, cada circuito -- consistirá de 10 espirales de 22 volts cada una, ó 20 espirales con 11 volts. Una instalación típica se muestra en la figura (4.3.4).

Se pueden equipar espirales individuales con conexiones tipo-bayoneta para facilitar la instalación en la planta. La figura (4.3.5) muestra los métodos de conexión de espirales y saltos en bridas, etc. Alternativamente, se pueden preenrollar secciones enteras de tubería para formar una espiral de inducción continua. En estos casos, la tubería se cubre con un --

aislamiento rígido de una pulgada de espesor sobre el cual se enrolla el alambre. Una chaqueta externa de PVC se coloca sobre la tubería de proceso y el espacio existente se llena con espuma de poliuretano.

Un método recomendado para el preenrollado de tuberías se ilustra en la figura (4.3.6).

Los sistemas de calentamiento por inducción requieren de muy poco mantenimiento, ya que la corriente de calentamiento se induce en la tubería y la espiral enrollada no está excesivamente caliente, por lo que la espiral tendrá una larga vida. Si un corto circuito se presenta en una de las espirales, el circuito seguirá operando con un ligero decremento de capacidad de calentamiento. Si una rotura ocurre en un espiral, como en una resistencia de calentamiento, el sistema deja de funcionar.

Los sistemas de calentamiento por inducción proporcionan un buen control de la temperatura, además, depende de las propiedades magnéticas del material de la tubería, el cual debe ser Ferromagnético. Los materiales no Ferromagnéticos como el acero inoxidable 316 no pueden ser calentados por inducción. Sin embargo, este problema puede ser resuelto usando tubería forrada. Si una tubería de acero inoxidable se forra con un material ferromagnético, la corriente de calentamiento puede-

ser inducida en este y la transferencia de calor se lleva a -  
través del forro por conducción.



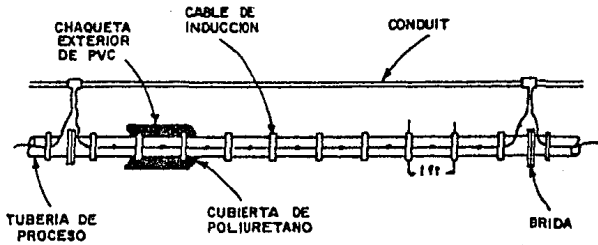


FIG. 4.3.4 SISTEMA TÍPICO DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN. INSTALACION DE ESPIRALES.

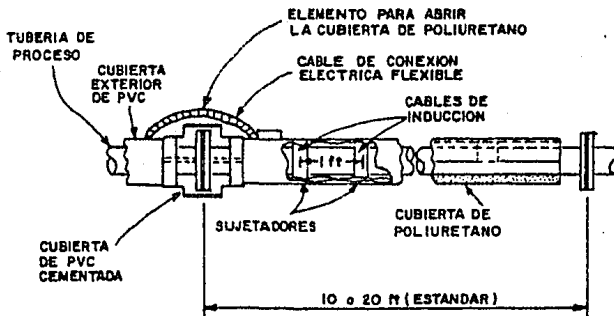


FIG. 4.3.5 DETALLE DE CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN CON ESPIRALES.

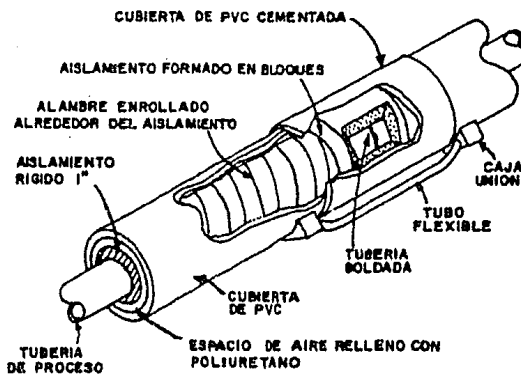


FIG. 4.3.6 CALENTAMIENTO POR INDUCCIÓN CON PREENROLLADO DE TUBERIA.

#### 4.4 COMPONENTES TÍPICOS DE TRAZADO ELÉCTRICO.<sup>50</sup>

El trazado eléctrico está compuesto fundamentalmente por los sistemas de: Suministro, Control, Trazado y Accesorios.

##### 4.4.1 Sistema de Suministro de Energía.

La fuente de energía de un sistema de trazado eléctrico es la electricidad. Esta se produce convirtiendo alguna otra forma de energía en fuerza eléctrica. Las fuentes de energía producen energía eléctrica originando cargas eléctricas opuestas en dos terminales. La diferencia de potencial ó fuerza electromotriz (FEM) entre las terminales hace que la corriente eléctrica se mueva hacia la carga que está conectada a la fuente. Las fuentes de energía más comunes que existen son: la batería, el termopar, la celda fotovoltaica y el más empleado que es el generador. Todas suministran un voltaje y una corriente eléctrica, pero cada una de ellas lo hace convirtiendo diferentes clases de energía. La batería convierte la energía química; el termopar la energía calorífica; la celda fotovoltaica la energía lumínica; y el generador la energía mecánica.

Básicamente un generador produce electricidad por la rotación de un grupo de conductores dentro de un campo magnético. Por lo tanto, la energía que entra a un generador, es la energía mecánica necesaria para hacer girar los conductores. Esta energía puede provenir de motores de gasolina ó diesel, o - -

bien turbinas de vapor, motores eléctricos, agua corriente y hasta reactores atómicos. De hecho todo lo que pueda hacer girar un eje, puede ser la energía que entre a un generador eléctrico. A la salida del generador se obtiene una FEM que se induce en los conductores cuando estos se mueven a través de un campo magnético.

Un generador de corriente alterna de dos fases produce voltajes defasados 90 grados. Un generador de corriente alterna de tres fases que difieren 120 grados en fase. En el caso de generadores trifásicos solo salen tres puntas al exterior para conectar la carga. Se puede hacer ya sea una conexión  $\Delta$  o una conexión Y. La conexión  $\Delta$  hace posible aumentar la corriente pero no el voltaje mientras que la conexión Y hace posible que el voltaje aumente pero no la corriente.

El voltaje existente entre dos terminales cualesquiera de un generador trifásico se llama voltaje de línea, lo cual representa precisamente la fuente de suministro del sistema de trazo eléctrico.

El transformador. Cuando hay inducción mutua entre dos bobinas o devanados, entonces un cambio de corriente en una de ellas induce una tensión en la otra. Todo transformador tiene un devanado primario y uno o más devanados secundarios. El

devanado primario recibe energía eléctrica y acopla esta energía al devanado secundario por medio de un campo magnético variable. La energía aparece como una FEM en el devanado secundario, y si se conecta una carga al secundario, entonces la energía se transfiere a la carga.

Por medio de transformadores, se puede transferir energía de un circuito a otro, sin que exista conexión física entre ellos, la transferencia de energía se efectúa completamente a través de un campo magnético. Los transformadores son indispensables en la distribución de potencia de corriente alterna ya que -- pueden convertir potencia eléctrica con condiciones dadas de corriente y voltaje, a la potencia equivalente con otros valores de corriente y tensión.

#### 4.4.2 El Sistema de Control.

El sistema de control del trazado eléctrico se constituye básicamente por termostatos. Estos son de muy diversos tipos, tanto en construcción como en funcionamiento.

Todos los tipos de termostatos cumplen una función específica en el sistema de trazado. Los termostatos constan de dos partes fundamentales que son: el bulbo y el reóstato.

El bulbo es un elemento térmico sensible a la temperatura, el

cual está colocado en contacto directo con el fluido de proceso por medio de un termocople. La temperatura detectada es transmitida hasta el reóstato por medio de un filamento térmico.

El reóstato (resistencia variable) es en sí el dispositivo de control, su principio de funcionamiento es  $I=E/R$ . Si el bulbo detecta una cierta temperatura esta será transmitida al reóstato el cual ajustará su resistencia y por lo tanto permitirá el flujo de cierta cantidad de corriente al sistema de trazado para mantener la temperatura.

Si la temperatura aumenta, aumentará  $R$ ; dado que la resistencia aumenta con la temperatura y la corriente ( $I$ ) disminuirá hasta restablecer la temperatura deseada. Por el contrario si la temperatura disminuye,  $R$  disminuirá y consecuentemente  $I$  aumentará para proporcionar calor al sistema y restablecer la temperatura.

Existen muchos tipos de termostatos de los cuales los dos más comúnmente empleados así como sus características pueden ser observados en las Tablas (4.4.1) y (4.4.2)

#### 4.4.3 El Sistema de Trazado Eléctrico.

El sistema de trazado eléctrico se compone básicamente de ca-

RANGO	MAX. TEMP. DEL BULBO	VOL-TAJE	AMPERES	DIF. MAX. DE TEMP.	TOLERANCIA DE CALIBRACION.	MATERIAL DEL BULBO	TAMAÑO DEL BULBO in
35°F-235°F	300°F	277	30 a 250V 25 a 277V	9°F	+ 5°F	Níquel Plata Cobre	1/4x6
35°F-250°F	600°F	480	30 a 277V 20 a 480V	12°F	+ 6°F	Acero Inox.	3/16x9
250°F-850°F	875°F	227	27 a 208V 25 a 240V 22.5a277V	25°F	+12°F	Níquel Cromo Acero	3/16x16
35°F-235°F	300°F	227	30 a 250V 25 a 277V	9°F	+ 5°F	Níquel Plata Cobre	1/4x6
35°F-250°F	600°F	480	30 a 277V 20 a 480V	12°F	+ 6°F	Acero Inox.	3/16x9
235°F-850°F	875°F	227	27 a 208V 25 a 240V 22.5a277V	25°F	+12°F	Níquel Cromo Acero	3/16x16

Tabla (4.4.1) Características Generales de Termostatos de Simple Polo

RANGO	MAX. TEMP. DEL BULBO	VOL-TAJE	AMPERES	DIF. MAX. DE TEMP.	TOLERANCIA DE CALIBRACION.	MATERIAL DEL BULBO	TAMAÑO DEL BULBO in
35°F-235°F	300°F	277	30 a 250V 25 a 277V	9°F	+ 5°F	Níquel Plata Cobre	1/4x6
35°F-250°F	300°F	480	30 a 277V 21 a 480V	14°F	+ 8°F	Acero Inox.	3/16x18
200°F-400°F	516°F	480	30 a 277V 25 a 480V	14°F	+ 8°F	Acero Inox.	3/16x22
35°F-235°F	300°F	277	30 a 250V 25 a 277V	9°F	+ 5°F	Níquel Plata Cobre	1/4x6
35°F-250°F	300°F	480	30 a 277V 21 a 480V	14°F	+ 8°F	Acero Inox.	3/16x18
200°F-400°F	516°F	480	30 a 277V 21 a 480V	14°F	+ 8°F	Acero Inox.	3/16x22

Tabla (4.4.2) Características Generales de Termostatos de Doble Polo.

bles, cintas y bandas de calentamiento, Estos difieren básicamente en cuanto a los requerimientos de trazado.

Las características generales de los principales tipos de cables de calentamiento se muestran en las Figuras (4.4.1) a -- (4.4.3) y Tablas (4.4.3) y (4.4.4)

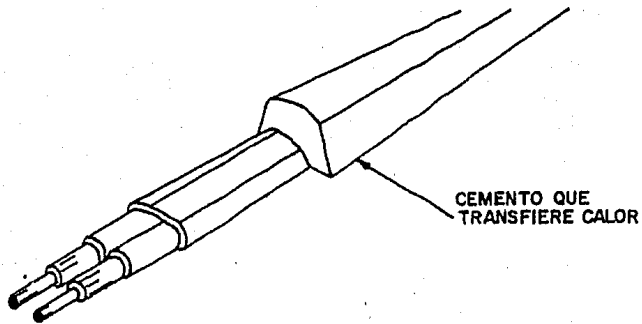


FIG. 4.4.1 CABLE DE CALENTAMIENTO TIPO (SF).

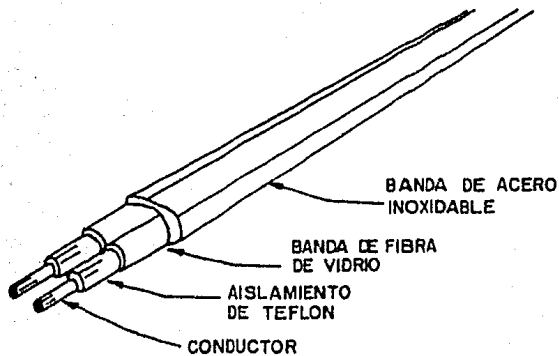


FIG. 4.4.2 CABLE DE CALENTAMIENTO TIPO (TEK).

Cables de Calentamiento		Resistencia +/- 5% a 68°F.		
Tipo (TEK)	Tipo (SF)	OHMS/Pie	OHMS/Metro	AWG
2A05	2A05	3.3420	10.9618	18
2A10	2A10	2.1100	6.9208	18
2A20	2A20	1.3184	4.3244	18
2A30	2A30	1.0416	3.4164	16
2A40	2A40	0.8438	2.7677	16
2B10	2B10	0.56240	1.8447	18
2B20	2B20	0.35160	1.1535	16
2B30	2B30	0.27780	0.9112	16
2B40	2B40	0.22500	0.7380	14
2B50	2B50	0.13842	0.4540	12
2B60	2B60	0.08790	0.2883	10
2C05	2C05	0.05848	0.1918	14
2C10	2C10	0.03650	0.1197	14
2C20	2C20	0.02306	0.0756	14
2C30	2C30	0.01278	0.0419	12
2C40	2C40	0.00804	0.0264	10
2C50	2C50	0.00504	0.0165	10

Tabla (4.4.3) Características Generales de Cables de Calentamiento Tipos (TEK) y (SF).

Resistencia +/- 10% a 68°F			
Tipo (SSK)	Voltaje Máximo	OHMS/ft	OHMS/mt.
2A10	240	2.175	7.136
2A20	480	1.355	4.446
2A40	480	0.869	2.851
2B10	300	0.579	1.899
2B20	480	0.369	1.211
2B40	480	0.231	0.758
2B50	480	0.143	0.469
2C05	480	0.075	0.246
2C30	480	0.004	0.014

Tabla (4.4.4) Características Generales de Cables de Calentamiento Tipo (SSK)

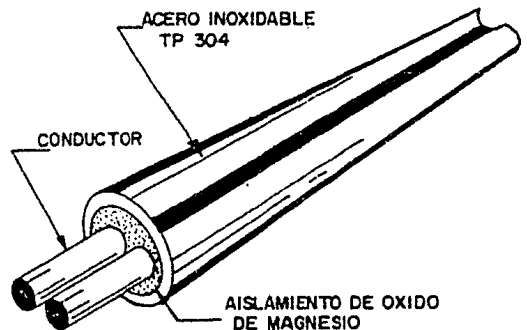


FIG. 4.4.3 CABLE DE CALENTAMIENTO TIPO (SSK).



#### 4.4.4 Accesorios de Trazado Eléctrico,

Existen una multitud de accesorios adicionales en el sistema de trazado eléctrico. La parte de accesorios correspondiente al aislamiento térmico es similar a la que se presenta en trazado de vapor (ver sección 3.7), así como sus detalles de instalación.

Los accesorios empleados en trazado eléctrico varían de acuerdo a la aplicación particular. Los tipos de accesorios más comúnmente empleados son los accesorios tipo "N" y tipo "O" - que se muestran en las figuras (4.4.4) y (4.4.5) y cubiertas protectoras en la Figura (4.4.6) que se emplean principalmente con cables tipo (TEK) y (SF).

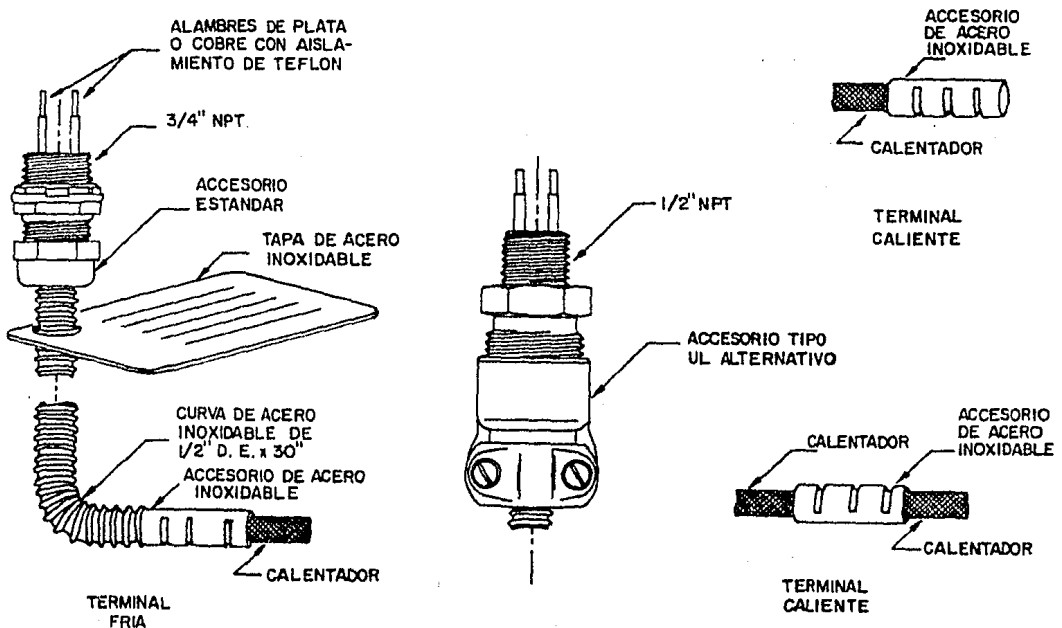


FIG. 4.4.4 ACCESORIOS TIPO "N" PARA CABLES DE CALENTAMIENTO.

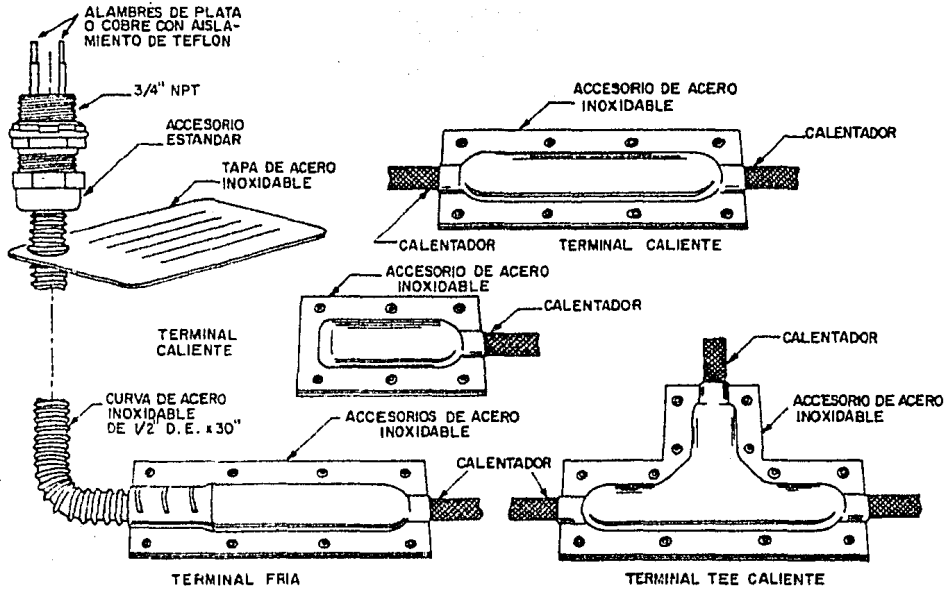


FIG. 4.4.5 ACCESORIOS TIPO "O" PARA CABLES DE CALENTAMIENTO.

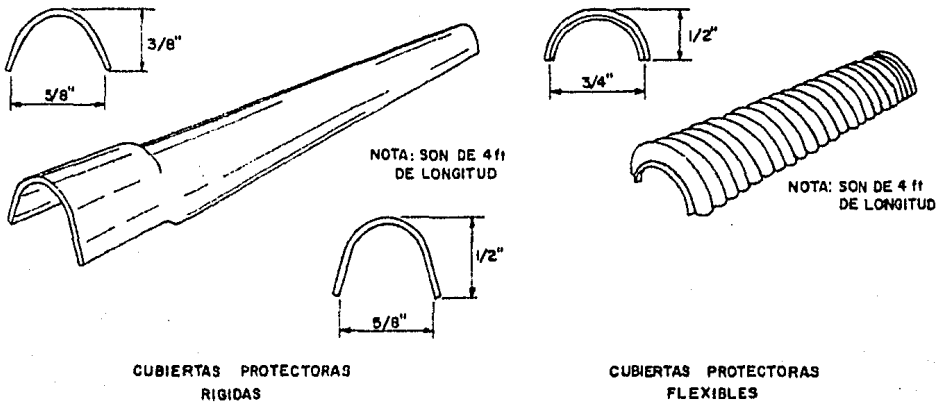


FIG. 4.4.6 CUBIERTAS PROTECTORAS PARA CABLES DE CALENTAMIENTO ( RIGIDAS Y FLEXIBLES).

## 4.5 DISEÑO DEL TRAZADO ELECTRICO.<sup>50</sup>

### 4.5.1 Introducción.

El diseño del sistema presentado aquí es de naturaleza general. Cada aplicación de trazado eléctrico es única, y anticiparse a todos los problemas que se presentan en forma particular resultaría imposible. Sin embargo, se tratará de dar el mayor número de alternativas y criterios así como métodos de cálculo para el mejor diseño del trazado eléctrico.

### 4.5.2 Determinación del Número de Circuitos.

Un estudio cuidadoso de los diagramas de flujo es esencial en la determinación del arreglo de cables de calentamiento y subdivisión en circuitos. Tuberías que contienen productos fluyendo, y tuberías que contienen productos estancados no deberán ser trazadas con el mismo cable de calentamiento. En --

otras palabras, cada cable de calentamiento deberá trazar tuberías que tienen pérdidas de calor uniformes en cualquier instante y a lo largo de toda la longitud. Para ilustrar esto considere la Figura (4.5.1).

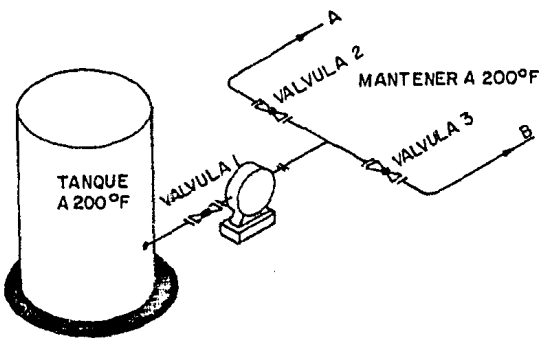


FIG. 4.5.1 EL PRODUCTO FLUYE DEL TANQUE POR LAS TUBERIAS A O B DEPENDIENDO DEL ARREGLO DE LAS VALVULAS 2 Y 3.

Ejemplo (4.5.1) Suponer que las válvulas 1 y 2 están a-

biertas y la válvula 3 está cerrada. El producto fluye del tanque a través de la tubería A. Suponer también que el producto del tanque de almacenamiento entra a la tubería a  $195^{\circ}\text{F}$  y un termostato colocado a  $200^{\circ}\text{F}$  sobre la tubería demandará calor constantemente. El calor de salida del cable de calentamiento es inadecuado para elevar la temperatura del fluido. Por lo tanto, se requerirá mayor energía para mantener esas condiciones. Si la energía faltante es utilizada sobre el fluido estancado en la tubería B el producto se calentará hasta igualar las pérdidas de calor con el calor de entrada, de lo contrario se quemaría el cable de calentamiento.

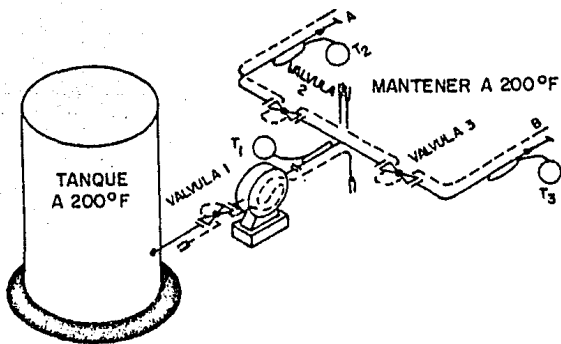


FIG. 4.5.2 DIVISION CORRECTA DE LOS CIRCUITOS DE TRAZADO.

Ejemplo (4.5.2) Existe otra posibilidad. Suponer que el producto del tanque entra a  $205^{\circ}\text{F}$  (condición lograda previamente). El flujo es a través de la tubería A, un termostato mantendrá el producto a  $205^{\circ}\text{F}$  sobre la tubería A, sin embargo el pro-

ducto estancado sobre la tubería B enfriaría existiendo el riesgo de que solidifique.

Estos problemas existen dado que se han colocado termostatos-

ya sea en la tubería A, tubería B. ó en la succión de la bomba.

Para eliminar estos problemas, un estudio de los posibles patrones de flujo es necesario para hacer el arreglo apropiado de controles y cables de calentamiento. La figura (4.5.2) -- muestra la correcta división de los circuitos de trazado.

Se usan tres circuitos de cable de calentamiento y tres termostatos. El termostato  $T_2$  demandará el calor necesario para -- mantener la tubería a 200°F, sin importar el arreglo de flu--jos. El termostato  $T_3$  demandará lo mismo para la tubería B.- El termostato  $T_1$  controlará la tubería de la descarga del tan--que (succión de la bomba) a la tee que divide las tuberías A- y B.

Ejemplo (4.5.3) Revisando todas las posibles condiciones y - patrones de flujo, notar que tres termostatos están ahora en- servicio en lugar de uno como en la Figura (4.5.1).

Suponer las válvulas 1 y 2 abiertas y la válvula 3 cerrada. - El flujo del tanque pasando por la válvula 2 y la tubería A.- La válvula 3, previene el flujo por la tubería B.

Suponer también que el producto entra a la tubería a 195°F y- que los tres termostatos están colocados a 200°F. Los termos

tatos  $T_1$  y  $T_2$  forman un circuito cerrado, circuito número 1 y el circuito número 2 permanecerá energizado siempre que el -- producto abandone el tanque a una temperatura menor que  $200^\circ\text{F}$ . El termostato  $T_3$  forma el circuito número 3 por el cual no -- hay flujo, pero se requiere mantener a  $200^\circ\text{F}$ . No se requiere sobrecalentamiento en la tubería B, porque el circuito número 3 es independientemente controlado de los circuitos 1 y 2.

Ejemplo (4.5.4). Si el producto deja el tanque a  $205^\circ\text{F}$ , los termostatos  $T_1$  y  $T_2$  sensarán los  $205^\circ\text{F}$  en la temperatura del producto y cortarán la energía de los circuitos 1 y 2. Esta condición no presenta problema alguno en la succión de la bomba, ni en la descarga y por consiguiente en la tubería A. El producto es entonces bombeado fácilmente sin adicionar calor por medio de los cables de calentamiento.

Sobre la tubería B el termostato  $T_3$  energizará el circuito número 3 como es requerido por la tubería a  $200^\circ\text{F}$ , sin importar las condiciones que existan en los circuitos 1 y 2.

- Diferentes Tamaños de Tuberías.

Solo tuberías de aproximadamente las mismas dimensiones y pérdidas de calor deberán ser trazadas con un mismo circuito de calor. La figura (4.5.3) ilustra este caso y denota cuando -- una persona no tiene experiencia en trazado eléctrico. Si el

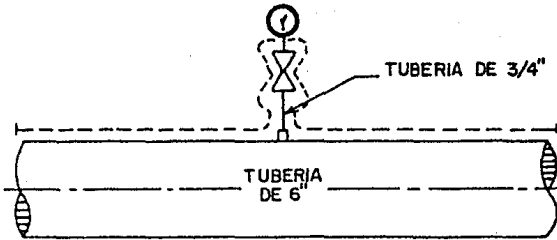


FIG. 4.5.3 METODO DE TRAZADO ELECTRICO INCORRECTO.

cable está trabajando con un potencial de 20 watts/ft, el doble paso de ese cable por la tubería de 3/4" proporciona una entrada de calor de 40 watts/ft. Esto definitivamente provocará que se excedan los requerimientos, además de que una tubería más pequeña presenta menos pérdidas de calor.

Usualmente la tubería más pequeña deberá ser trazada -- separadamente. Otra manera de trazar estas líneas es colocar resistencias tipo cable de calentamiento conectadas en serie con el circuito, o bien pueden ser conectadas en paralelo directamente como circuitos individuales.

#### -Temperatura Ambiente.

Las pérdidas de calor de una tubería dada no son solo función del área superficial, espesor y tipo de aislamiento, sino también son función de la temperatura del aire que rodea la tubería. Normalmente se requiere un circuito separado cuando una tubería pasa de una área a otra con diferente temperatura ambiente. Considerar la Figura (4.5.4), aquí se puede observar que la temperatura en el interior no es fluctuante. Sin embargo en el exterior la temperatura ambiente presenta grandes

fluctuaciones. En la trinchera de concreto la fluctuación es menos extrema que en el exterior,

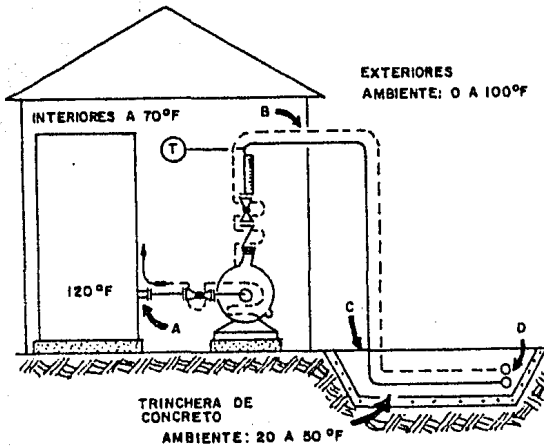


FIG. 4.5.4 CAMBIO DE MEDIO AMBIENTE EN LA RUTA DE UNA TUBERÍA.

Ejemplo (4.5.5) Suponer que el termostato está colocado a 120°F, dicho termostato - suministrará calor para man tener la tubería a 120°F. - La energía suministrada deberá ser adecuada para mantener la tubería a (120-70) = 50°F arriba de la ambiente. Esta condición es para la sección A-B de la tubería.

Suponer que en el exterior la temperatura ambiente es 0°F entonces la energía de salida es suficiente solo para mantener la tubería a 50°F arriba de la ambiente, la temperatura de la tubería será  $(0°F + 50) = 50°F$ , con lo cual está 70°F abajo de la temperatura requerida de 120°F. Suponer también que la trinchera se encuentra a 20°F, la temperatura de la tubería será entonces de  $(20°F + 50°F) = 70°F$ , o sea 50°F abajo de la temperatura requerida por el proceso de 120°F.

Si la temperatura en el exterior y la trinchera se encuentran



a su máximo (100°F y 50°F) respectivamente, entonces la temperatura de proceso deberá ser: 120°F en la sección A-B, - - 150°F en la sección B-C, y 100°F en la sección C-D.

Este ejemplo explica los problemas que pueden presentarse si se tienen cambios marcados en la temperatura ambiente. Existen muchas alternativas para solucionar estos problemas, esto depende de la ruta de la tubería, que puede estar sin aislamiento pegada a una pared, o bien junto a una ventana - - abierta o cerca de un ventilador, este análisis debe ser específico a cada situación en particular.

#### 4.5.3 Transferencia de Calor en Trazado Eléctrico.

El trazado de calor eléctrico ha alcanzado gran aplicación - en la actualidad y es requerido en muchas aplicaciones de ingeniería, su éxito depende de un buen diseño eléctrico, así como de una transferencia de calor adecuada.

Un calentador eléctrico elevará la temperatura hasta generar una diferencia suficiente entre el recubrimiento y el material circundante para disipar la energía apropiadamente. Si el calentador no es sujetado apropiadamente, fijado o encastrado este se expandirá con la elevación de la temperatura, esto provoca movimientos entre el cable, aislamiento o - aire y tubería, lo cual provoca una elevación excesiva de la

temperatura, que es la causa más común de que se quemé el cable, de fallas y de no obtener la temperatura deseada.

a) Métodos de Aplicación.

- 1.- Cable desnudo sobre centros de 1 ft. Se debe ser conservador cuando se use esta aproximación, porque obviamente no hay un 100% de contacto con la tubería, resultando -- con esto un coeficiente de transferencia de calor aproximado de  $3 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$  para la pared de la tubería.
- 2.- Una cubierta de aluminio continua que cubre el cable paralelamente. Este método trae como resultado un coeficiente de transferencia de calor aproximado de  $10 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .
- 3.- Uso de cementos que transfieren calor. Aplicados sobre el cable proporcionan un coeficiente de transferencia de calor de  $30 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .
- 4.- Usando cable de calentamiento cubierto entre dos capas - de aislamiento. Este método es para protección de altas temperaturas en líneas de vapor durante períodos de paro.

La clave para denotar los límites y uso de cualquier método - listado es tener la temperatura del conductor a un nivel pre-determinado, abajo del rango máximo de temperatura del cable - o abajo de la temperatura permisible para el material conduc-

tor.

b) Temperatura del Revestimiento.

Con el conocimiento del coeficiente de transferencia de calor ( $U$ ) obtenido de algún método particular, junto con el área ( $\text{ft}^2/\text{ft}$ ) de cable de calentamiento, se puede determinar la temperatura de recubrimiento de cualquier calentador como sigue:

(De la ecuación básica de transferencia de calor), donde:

$$Q = UA \Delta T$$

$$Q = \text{Btu/hr-ft} \text{ (salida del calentador en watts } \times 3.415)$$

$U$  = Coeficiente total de transferencia de calor a la tubería en  $\text{Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$ .

$A$  = Área del recubrimiento del calentador en  $\text{ft}^2/\text{ft}$  de calentador.

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre el calentador y la tubería en  $^\circ\text{F}$  ( $T_s - T_p$ ).

La temperatura del revestimiento ( $T_s$ ) de cualquier calentador es entonces, la temperatura de la tubería más la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) entre la tubería y el calentador.

$$T_s = (Q/UA) + T_p$$

c) Temperatura del Conductor.

La diferencia de temperatura entre el recubrimiento y el conductor depende del material y tamaño del conductor, - así como del tipo (características físicas), espesor y - densidad del aislamiento del cable.

Para cables con aislamiento termoplástico la temperatura del conductor será de un rango de 10 a 80°F arriba de la temperatura del recubrimiento. Cables de acero inoxidable con aislamiento mineral generalmente tienen temperaturas del conductor de 300 a 400°F arriba de la temperatura del recubrimiento.

#### 4.5.4 Selección de Cables de Calentamiento.

La selección gráfica del cable de calentamiento (curvas watts/ft de cable), están arregladas en orden ascendente relativo a la temperatura de proceso que se requiere mantener. Las gráficas (4.5.1) y (4.5.2) son para un rango de temperaturas de 30 a 150°F. Las gráficas (4.5.3) y (4.5.4) para un rango de 151 a 200°F. Las gráficas (4.5.5) y (4.5.6) para un rango de 201 a 250°F. Los números sobre las curvas "2A" y "2B" son para longitudes relativamente cortas de cable de calentamiento, el tipo "2C" es para circuitos de cable de calentamiento de gran longitud.

Los límites de energía máxima para los cables de calentamiento son observados en las gráficas.

Las resistencias de los tipos "2A" y "2B" varían insignificantemente con la temperatura, sin embargo, la energía puede ser considerada constante. Con el tipo "2C" las variaciones de la resistencia con la temperatura son de mayor consideración.

Ejemplo (4.5.6) Dado un voltaje de 220 volts, una longitud -- del calentador de 100 ft, una potencia de salida requerida de 10 watts/ft y una temperatura a mantener de 35°F; elegir un cable de calentamiento que satisfaga dichas condiciones.

Solución:

- 1) La temperatura de proceso dada es 35°F por lo tanto usar la gráfica (4.5.1) para un rango de temperatura de 30 a 150°F.
- 2) Localizar la longitud de calentamiento requerida (100 ft) dentro de la columna de voltaje (220 volts). Localizar la energía de salida de 10 watts/ft sobre la línea horizontal. El punto de intersección de esas dos coordenadas cae justo abajo de la curva para cable de calentamiento-2B20.
- 3) Extender la longitud de la intersección sobre la línea horizontal hasta la curva para el cable de calentamiento 2B20. Este punto de intersección indica que un cable de calentamiento 2B20 con una longitud de 100 ft producirá-

13,2 watts/ft con 220 volts,

Una energía de salida de 13.2 watts/ft satisface los requerimientos, por lo tanto el cable de calentamiento - - 2B20 es el apropiado.

#### 4.5.5 Resolución de Problemas Típicos.

Ejemplo (4.5.7) Dada una tubería de acero al carbón de 2" cé dula 40 de 50'0" de longitud, una válvula de compuerta de 2"- sobre la línea, y 1" de aislamiento de silicato de calcio con chaqueta de aluminio oxidizado.

Temperatura de proceso ( $T_p$ ) = 100°F

Temperatura ambiente mínima ( $T_a$ ) = 0°F

Voltaje = 110 volts

Mantener  $T_p$  solamente.

Usar un factor de seguridad de 1.1 y considerar una velocidad del viento de 25 millas/hr.

Encontrar: El cable de calentamiento que satisfaga las condiciones anteriores, la longitud del cable,  $\Delta T$ , pérdidas de ca lor, energía de salida, energía total y corriente total.

Solución:

- 1) Determinar la longitud total del cable de calentamiento-requerida. Ver Tabla (4.5.1) para la longitud equivalen te de la válvula.

Longitud de la línea = 50'0"

Long. eq. de la válvula = 2'6"

Longitud total del cable = 52'6"

- 2) Restar la temperatura ambiente de la temperatura de proceso.

$$(T_p) = 100^\circ\text{F}$$

$$- \quad \underline{(T_a) = 0^\circ\text{F}}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{F} \text{ (entre el proceso y la temperatura del aire).}$$

- 3) Determinar las pérdidas de calor de las tablas de conductancia (4.6.1), (4.6.2) y (4.6.3).

$$C_i \text{ de la Tabla (4.6.1) } = 0.0835$$

Corregir  $C_i$  por  $\Delta T = 100^\circ\text{F}$  multiplicando por 0.96 de la tabla (4.6.3)

$$0.0835 \times 0.96 = 0.0804$$

$$0.0804 \times 100 = 8.04 \text{ watts/ft}$$

- 4) Seleccionar el cable de calentamiento adecuado. Observar las gráficas (4.5.1) y (4.5.2) para un rango en la temperatura de 30 a 150°F y poder determinar qué curva corresponde al voltaje y longitud real. En este caso usamos la gráfica (4.5.1) de la cual el cable de calentamiento apropiado es el 2B20.

- 5) Determinar la energía real de salida del cable de calentamiento. De la misma gráfica se obtiene

Energía real de salida = 12 watts/ft.

- 6) Determinar la energía total (P) y la corriente total (I) para el circuito.

Energía total (P) = 12 watts/ft x 52.5 ft = 630 watts

Corriente total (I) = 630 watts / 110 volts = 5.73 amperes.

TIPO DE VALVULA	DIAMETRO NOMINAL DE LA VALVULA										
	1"	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"
Roscada ó Soldable	1'0"	2'0"	2'6"	4'0"	7'0"	9'6"	12'6"	16'0"	18'0"	21'6"	25'6"
Bridada	2'0"	2'6"	3'6"	6'0"	8'0"	11'0"	14'0"	16'6"	19'6"	23'0"	27'0"
Mariposa	1'0"	2'0"	2'6"	3'0"	3'6"	4'0"	4'0"	5'0"	5'6"	6'0"	6'6"

Tabla (4.5.1) Longitud equivalente de cables de calentamiento para válvulas.

Ejemplo (4.5.8) Dada una tubería de acero al carbón de 6" cédula 40 y 1200'0" de longitud, una válvula de compuerta de 6" sobre la línea, 1 bomba con una área superficial externa de - 8 ft<sup>2</sup>, 1-1/2" de silicato de calcio con chaqueta de aluminio-oxidizado.

Temperatura a mantener (Tp) = 60°F

Temperatura mínima ambiente (Ta) = -20°F

Voltaje = 440 volts, fase simple o trifásico.

Clasificación de área: NEMA 7 (Clase 1, División 2), - - - peligrosa.

Mantener la (Tp) solamente.



Usar un factor de seguridad de 1.1 y considerar una velocidad del viento de 25 millas/hr.

Encontrar: El cable de calentamiento que satisfaga las condiciones anteriores, calcular su longitud,  $\Delta T$ , pérdidas de calor, energía de salida, energía total y corriente total.

Solución:

- 1) Determinar la longitud total del cable de calentamiento requerida, ver Tabla (4.5.1) para la longitud equivalente de la válvula y un manual de datos de ingeniería para la longitud equivalente de la bomba:

Longitud equivalente de la bomba x 1.5

Área superficial de la tubería/ft = 1.735 ft<sup>2</sup>

(8 ft<sup>2</sup>/1.735 ft<sup>2</sup>/ft) x 1.5 = 7'0"

Longitud de la línea = 1200'0"

Longitud Eq. Bomba = 7'0"

Longitud Eq. Válvula = 8'0"

Longitud total cable = 1215'0"

- 2) Restar la temperatura ambiente ( $T_a$ ) de la temperatura de proceso ( $T_p$ ):

( $T_p$ ) = 60°F

- ( $T_a$ ) = -20°F

$\Delta T$  = 80°F (entre el proceso y la temperatura del aire)

- 3) Determinar las pérdidas de calor de las Tablas de conductancia (4.6.1), (4.6.2) y (4.6.3)

$$C_i \text{ de la Tabla (4.6.1) } = 0.1395$$

Corregir  $C_i$  por  $\Delta T = 80^\circ F$  multiplicando por 0.944 de la Tabla (4.6.3), obtenido por interpolación.

$$0.1395 \times 0.944 = 0.1317$$

$$0.1317 \times 80 = 10.54 \text{ watts/ft}$$

- 4) Seleccionar el cable de calentamiento apropiado. Examinar las Gráficas (4.5.1) y (4.5.2) para un rango en la temperatura de 30 a 150°F, para determinar que curva corresponde a la longitud y voltaje reales. En este caso usamos la Gráfica (4.5.2) de la cual el cable de calentamiento apropiado es el 2C40.

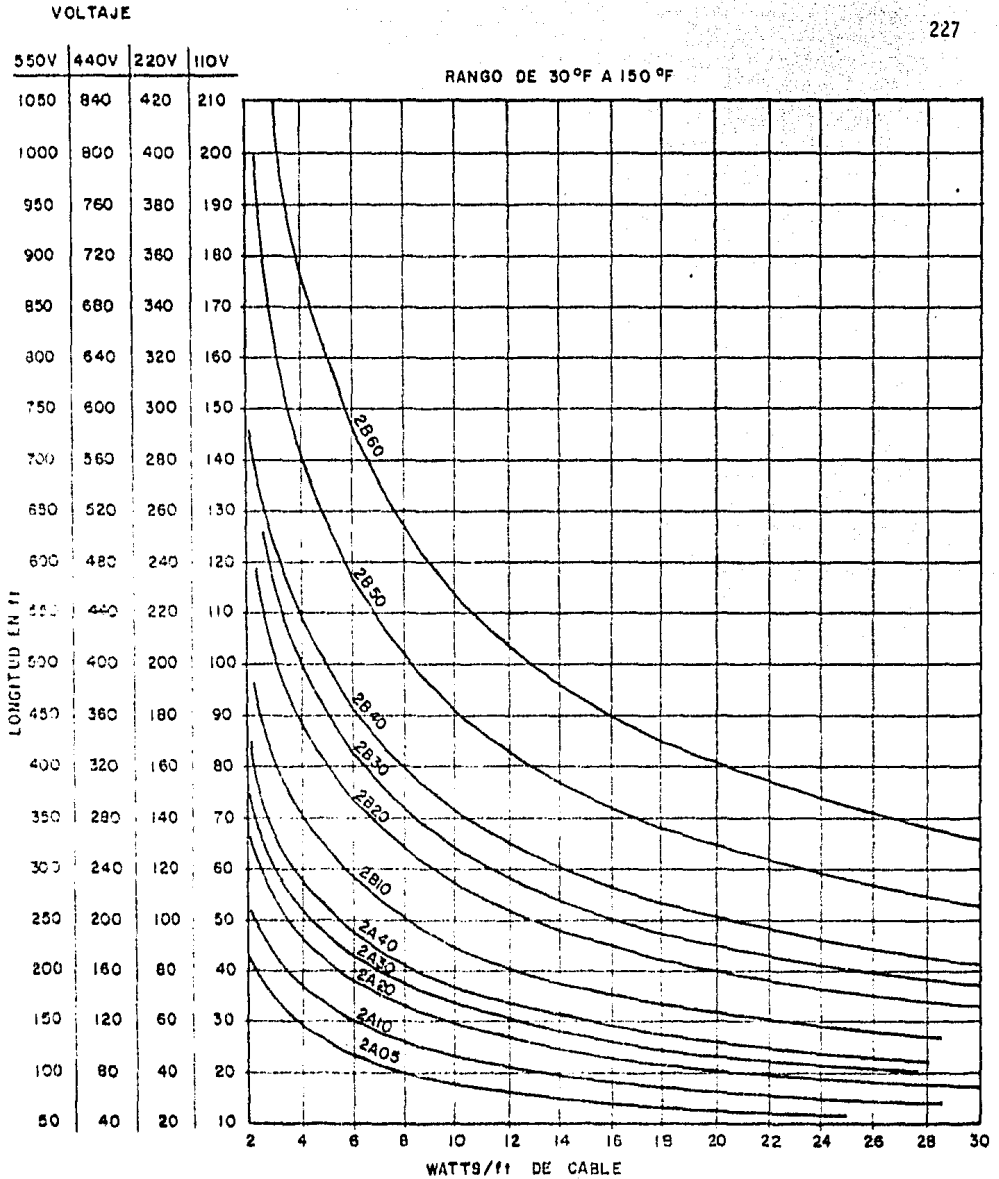
- 5) Determinar la energía real de salida del cable de calentamiento. De la misma gráfica se obtiene:

$$\text{Energía real de salida} = 13 \text{ watts/ft}$$

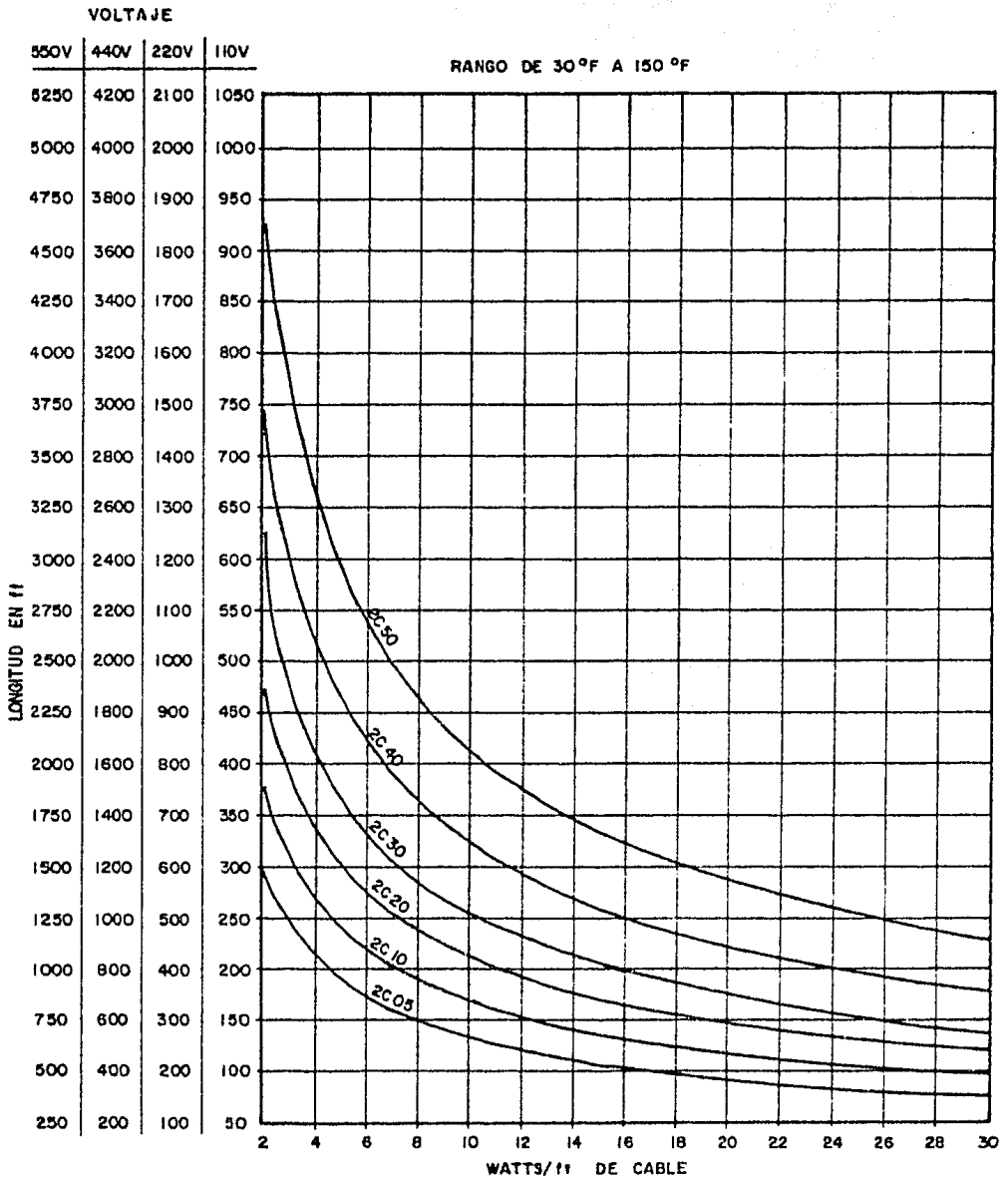
- 6) Determinar la potencia total (P) y la corriente (I) para el circuito de calentamiento.

$$\begin{aligned} \text{Energía total (P), en operación} &= 13 \text{ watts/ft} \times 1215 \text{ ft-} \\ & \text{(P)} = 15 \text{ 795 watts} \end{aligned}$$

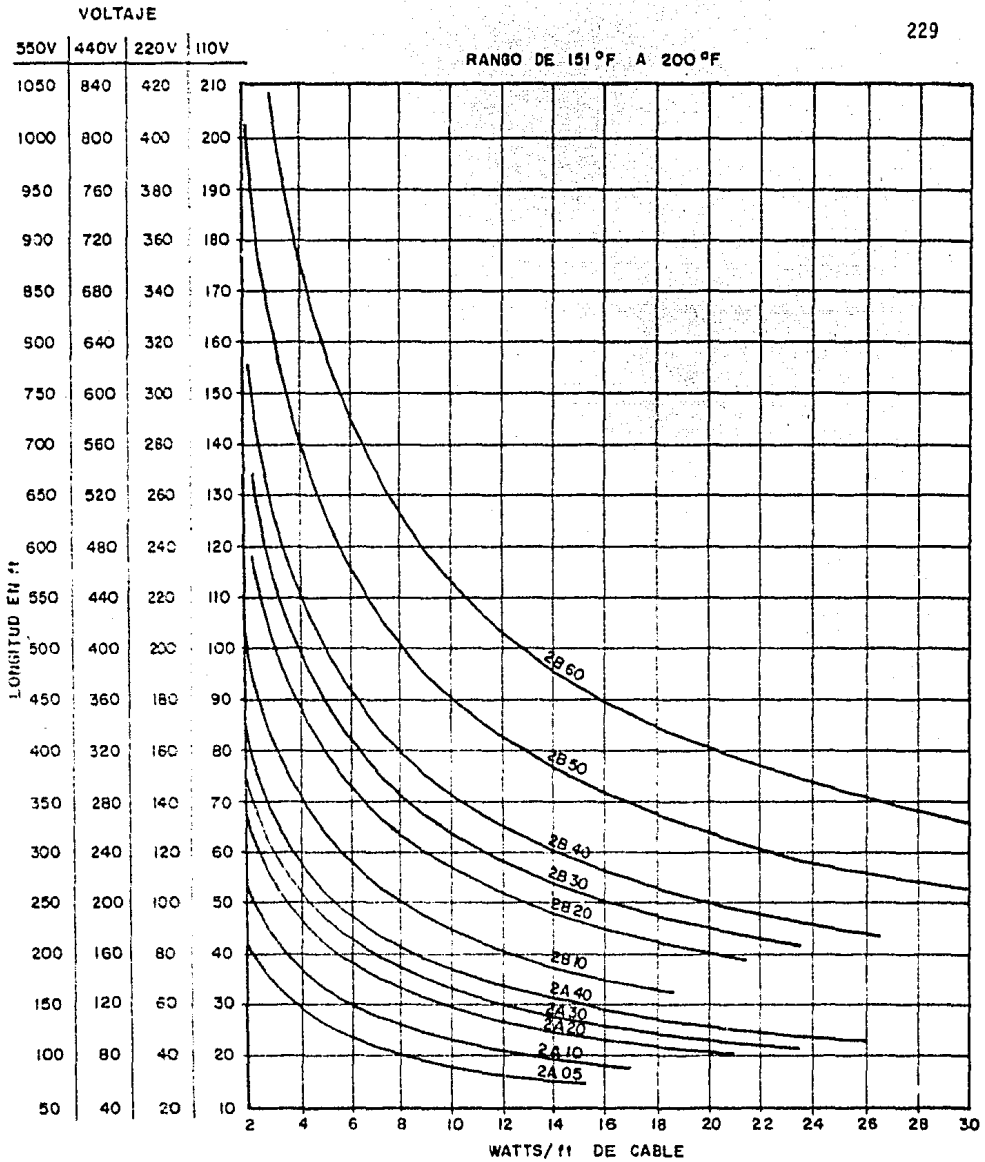
$$\begin{aligned} \text{Corriente total (I), en operación} &= (15 \text{ 795 watts}/440 \text{ --} \\ & \text{volts (I)} = 35.9 \text{ amperes.} \end{aligned}$$



GRAFICA 4.5.1 ENERGIA SUMINISTRADA POR DISTINTOS TIPOS DE CABLES DE CALENTAMIENTO.



GRAFICA 4.5.2 ENERGIA SUMINISTRADA POR DISTINTOS TIPOS DE CABLES DE CALENTAMIENTO.

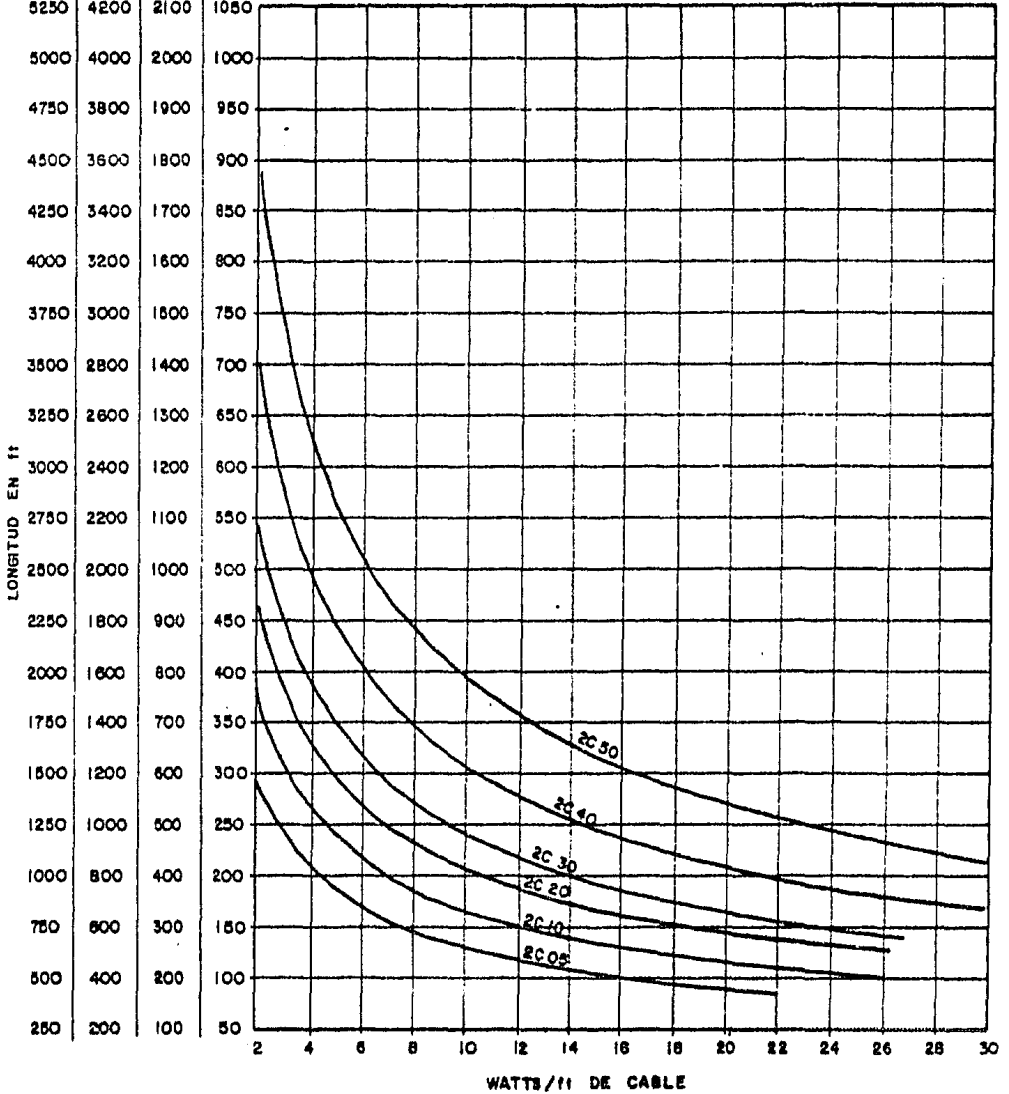


GRAFICA 4.5.3 ENERGIA SUMINISTRADA POR DISTINTOS TIPOS DE CABLES DE CALENTAMIENTO.

VOLTAJE

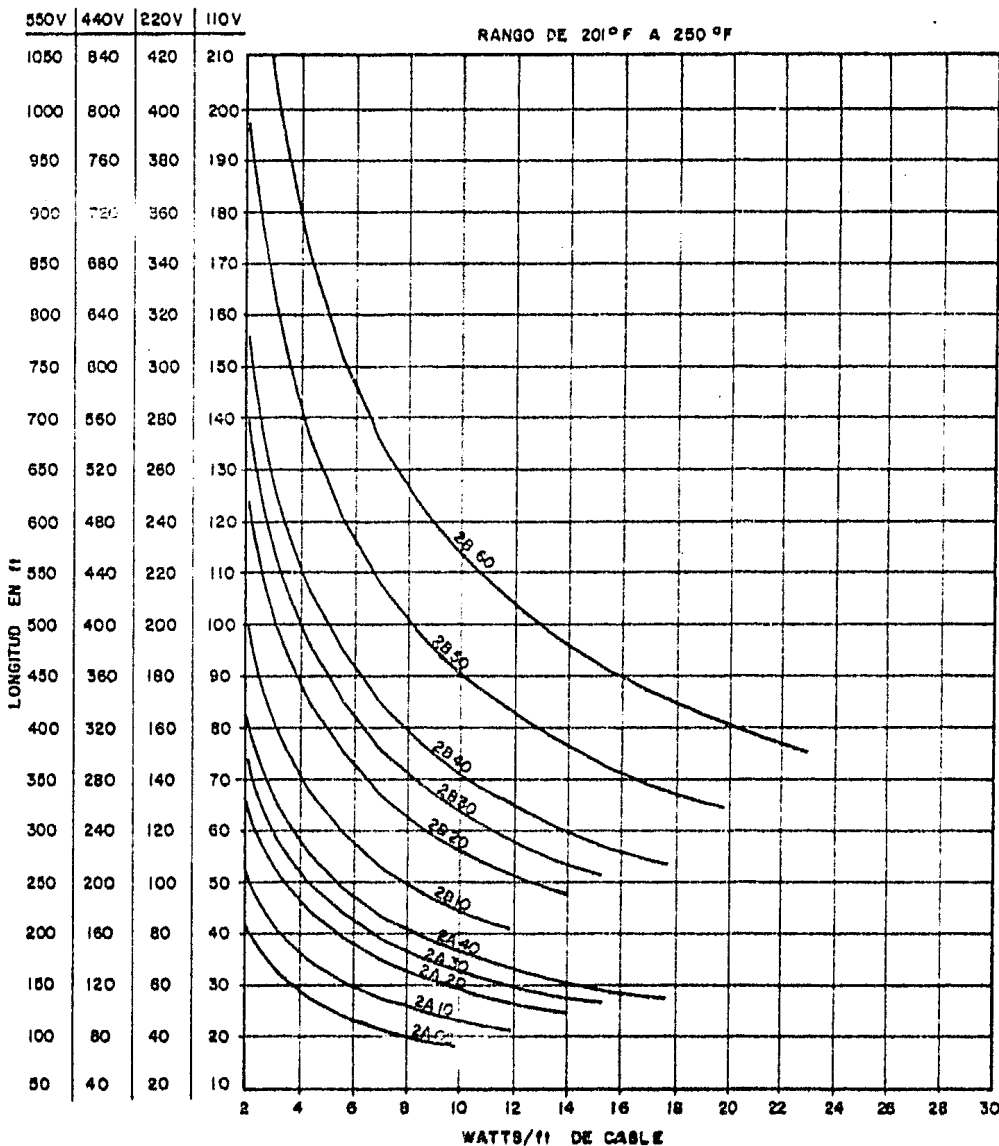
550V	440V	220V	110V
5250	4200	2100	1050
5000	4000	2000	1000
4750	3800	1900	950
4500	3600	1800	900
4250	3400	1700	850
4000	3200	1600	800
3750	3000	1500	750
3500	2800	1400	700
3250	2600	1300	650
3000	2400	1200	600
2750	2200	1100	550
2500	2000	1000	500
2250	1800	900	450
2000	1600	800	400
1750	1400	700	350
1500	1200	600	300
1250	1000	500	250
1000	800	400	200
750	600	300	150
500	400	200	100
250	200	100	50

RANGO DE 151°F A 200°F

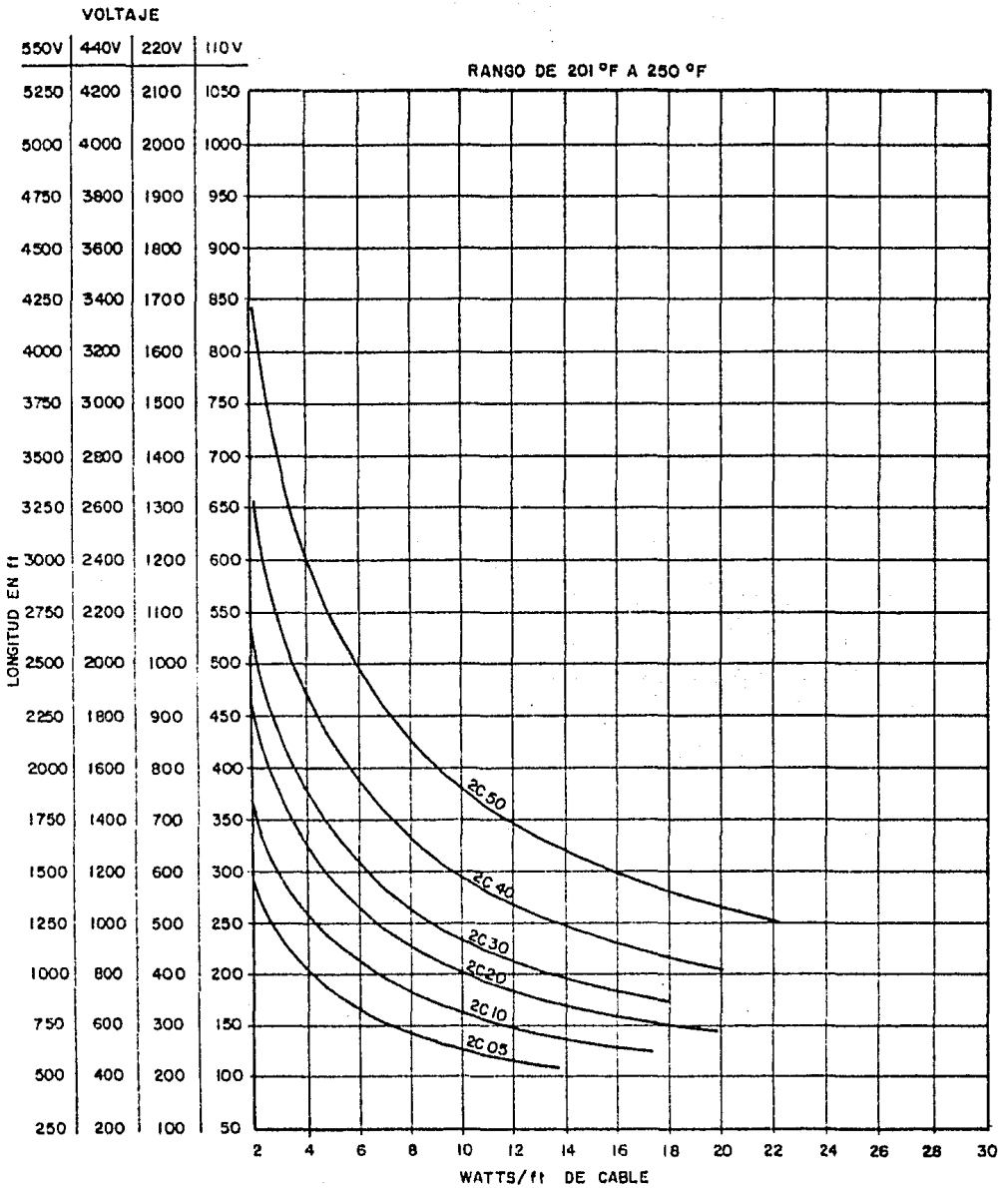


GRAFICA 4.5.4 ENERGIA SUMINISTRADA POR DISTINTOS TIPOS DE CABLES DE CALENTAMIENTO.

VOLTAJE



GRAFICA 4.5.5 ENERGIA SUMINISTRADA POR DISTINTOS TIPOS DE CABLES DE CALENTAMIENTO.



GRAFICA 4.5.6 ENERGIA SUMINISTRADA POR DISTINTOS TIPOS DE CABLES DE CALENTAMIENTO.



#### 4.5.6 Selección de Cintas de Calentamiento.<sup>49</sup>

Las cintas pueden cortarse a la longitud requerida en el lugar de instalación. Como la cinta es delgada, angosta y flexible, se puede envolver fácilmente, aún en los sistemas de tuberías y válvulas más complicados.

Estos sistemas de calentamiento proporcionan un control exacto de la temperatura deseada sin desperdiciar energía, con un sistema que puede ser diseñado fácilmente de acuerdo a sus especificaciones. El siguiente método de tres pasos simplifica el diseño de un sistema.

- 1) Determinación de las pérdidas de calor en la tubería con aislamiento térmico.

Para la determinación de estas pérdidas de calor, se requieren los siguientes datos: Diámetro de la tubería, espesor del aislamiento térmico, temperatura mínima ambiente y temperatura que se desea mantener. La diferencia de estas dos temperaturas es  $\Delta T$ .

De la Tabla (4.5.3), se determinan las pérdidas de calor en watts/metro. Si la tubería está dentro (protegida del viento), se multiplican estas pérdidas por 0.90:

De la tabla (4.5.2), se multiplican las pérdidas de calor por el factor de corrección correspondiente al aislamiento

térmico especificado. El resultado indica las pérdidas de calor por metro de tubería, que deben ser reemplazados por la cinta calefactora.

- 2) Determinación de la longitud de cinta de calentamiento requerida.

Se selecciona la cinta requerida de acuerdo a las especificaciones, enumeradas en la tabla (4.5.5). Su selección depende de los siguientes parámetros de diseño: Voltaje, Longitud del circuito, Máxima temperatura del fluido, etc.

De la gráfica (4.5.7), se determina la potencia en watts/ metro de la cinta calefactora, a la temperatura que se desea mantener en la tubería.

Si las pérdidas de calor calculadas en el primer paso son mayores que la potencia de la cinta, se puede realizar lo siguiente:

- a) Usar aislamiento de mayor espesor.
- b) Usar aislamiento de conductividad térmica más baja.
- c) Usar dos o más cintas a lo largo de la tubería.
- d) Instalar la cinta en espiral.

Si se opta por la última sugerencia, se debe calcular la cantidad de cinta requerida por metro de tubería, dividiendo las pérdidas de calor por la potencia de la cinta a la

temperatura deseada. De la tabla (4.5.4) se determina el paso de la cinta. Por ejemplo, si las pérdidas de calor en una tubería de 6 pulgadas es de 49 watts/metro y se escoge una cinta para mantener 66°C, esta cinta produce 32 watts/metro. Dividiendo 49 entre 32 da 1.5. El paso de acuerdo a la tabla (4.5.4) es de 46 cm.

Cuando se requieran más de 1.5 metros de cinta por metro de tubería, es preferible usar dos cintas paralelas para facilitar la instalación.

- Tuberías de Plástico.

Debido a que los plásticos tienen mucho menos conductividad térmica que los metales (0.12 contra 25.0) es necesario ajustar la potencia térmica de la cinta (Ver -- gráfica (4.5.7)) para tomar en cuenta esta resistencia al flujo de calor, a través de la pared de una tubería de plástico. Para diámetros hasta de 6 pulgadas cédula 40 y hasta de 3 pulgadas cédula 80, se multiplica la potencia térmica de la cinta en la gráfica (4.5.7) por un factor de 0.70.

3) Determinación de la longitud de cinta de calentamiento requerida para válvulas.

De la tabla (4.5.6), se determina la longitud de la cinta requerida dividiendo las pérdidas de calor de la válvula -

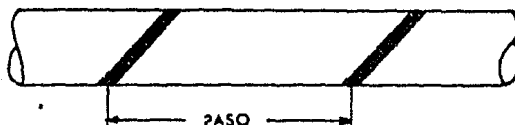
por la potencia térmica de la cinta seleccionada a la temperatura deseada.

Las pérdidas de calor en válvulas son críticas y pueden -- ser más de cuatro veces mayor que las pérdidas de calor en el primer metro de la tubería a la cual está conectada. Para el diseño se asume que el aislamiento térmico cubre todo el cuerpo de la válvula hasta el bonete.

La tabla (4.5.6) da el valor correcto para válvulas de compuerta. Si la válvula es tipo globo, se multiplican las - pérdidas de calor por 0.90, si es de bola por 0.60, si es- de mariposa por 0.50. La tabla está basada en aislamiento de fibra de vidrio, si el aislamiento es diferente se usa la tabla (4.5.2).

Aislamiento	Factor de Corrección	K(Conductividad térmica) a 50°F en Btu/hr-°F-ft <sup>2</sup> /in).
Fibra de vidrio	1.00	0.26
Silicato de Calcio	1.42	0.37
Vidrio Celular Rígido	1.48	0.39
85% Magnesia	1.54	0.40
Espuma de Poliuretano	0.74	0.19
Espuma de Caucho	1.00	0.26
Lana Mineral	1.00	0.26
Fibra Mineral	1.38	0.36
Silicato Expandido(perlite)	1.31	0.34

Tabla (4.5.2) Factores de corrección de aislamiento.



Metros de cinta por metro de tubería					
Diámetro (En pulg.)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1	23	15	13	10	8
1-1/4	30	20	15	13	10
1-1/2	33	23	18	15	13
2	43	28	23	20	18
2-1/2	51	35	28	23	20
3	61	43	33	28	25
3-1/2	71	48	38	33	28
4	78	53	43	35	30
4-1/2	89	61	48	41	35
5	94	63	53	46	38
6	117	78	63	53	46
8	150	104	84	71	61

Tabla (4.5.4) Paso (cm.)

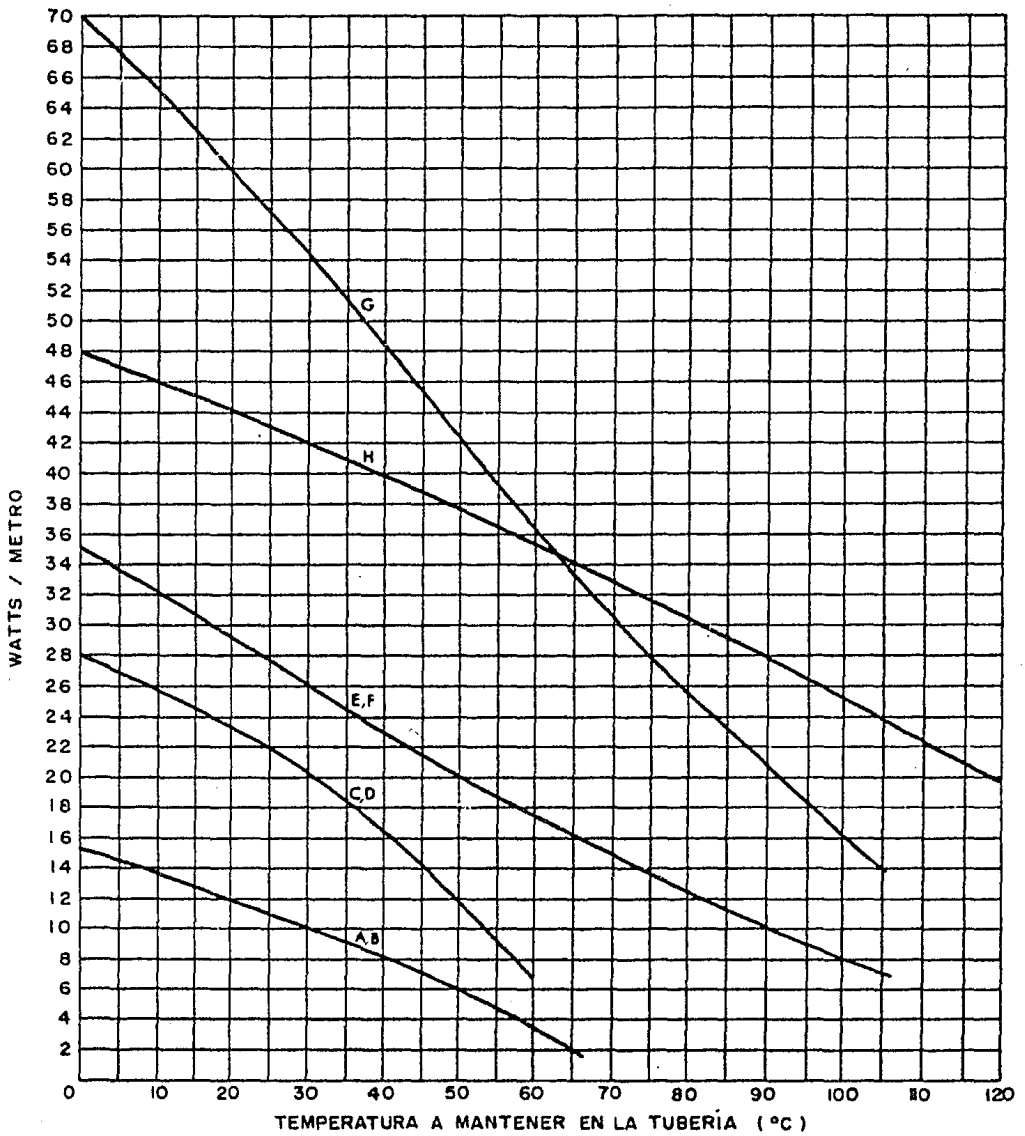


TIPO	Potencia Térmica a 10°C	Voltaje	Máxima longitud de circuito	Límites de temperatura, mantenimiento, conectada	Intermitente, desconectada	Datos para el interruptor. Si se prende a 10°C	Si se prende a 20°C	Si se prende a 30°C	Aplicaciones típicas
A	13 W/m	120V	75 m	65°C	85°C	0.20 A/m	0.26 A/m	0.33 A/m	Para evitar congelamiento de agua en sistemas de tuberías de pequeño diámetro, así como líneas de instrumentación, en ambientes químicos, corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).
B	13 W/m	240V	150 m	65°C	85°C	0.10 A/m	0.13 A/m	0.16 A/m	Para evitar congelamiento en sistemas de tuberías de mayor diámetro y tanques en ambientes químicos corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).
C	26 W/m	120V	60 m	65°C	85°C	0.39 A/m	0.52 A/m	0.65 A/m	Para mantener temperaturas de proceso, controlar viscosidad de fluidos y prevenir condensación de vapores en líneas de aire y gas en ambientes químicos, corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).
D	26 W/m	240V	100 m	65°C	85°C	0.20 A/m	0.26 A/m	0.33 A/m	Para mantener temperaturas de proceso, controlar viscosidad de fluidos y prevenir condensación de vapores en líneas de aire y gas en ambientes químicos, corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).
E	33 W/m	120V	50 m	105°C	150°C	0.33 A/m	0.39 A/m	0.42 A/m	Para mantener temperaturas de proceso, controlar viscosidad de fluidos y prevenir condensación de vapores en líneas de aire y gas en ambientes químicos, corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).
F	33 W/m	240V	85 m	105°C	150°C	0.16 A/m	0.20 A/m	0.23 A/m	Para mantener temperaturas de proceso, controlar viscosidad de fluidos y prevenir condensación de vapores en líneas de aire y gas en ambientes químicos, corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).
G	66 W/m	120V	45 m	105°C	150°C	0.65 A/m	0.78 A/m	0.84 A/m	Para mantener temperaturas de proceso, controlar viscosidad de fluidos y prevenir condensación de vapores en líneas de aire y gas en ambientes químicos, corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).
H	46 W/m		55 m	121°C	185°C	0.52 A/m	0.56 A/m	0.59 A/m	Para evitar congelamiento y mantener temperaturas de proceso en sistemas de tuberías y tanques que se purgan periódicamente con vapor de 150 PSIG (10 brs). Para ambientes químicos, corrosivos y en zonas clasificadas como peligrosas (malla de resguardo de cobre con cobertura externa de fluoropolímero).

TABLA (4.5.5) Especificaciones para cintas de calentamiento







GRAFICA (4.5.7) POTENCIA TERMICA

#### 4.6 REQUERIMIENTOS DE AISLAMIENTO PARA TRAZADO ELECTRICO.

##### 4.6.1 Selección de Materiales Aislantes.

La selección de materiales que van a ser empleados en trazado eléctrico, deberá hacerse con mucho cuidado. Cuando se selecciona el aislamiento los aspectos más importantes que deben ser considerados son:

- 1) Características térmicas.
- 2) Propiedades mecánicas.
- 3) Requerimientos químicos.
- 4) Resistencia a la humedad.
- 5) Salubres y seguros.
- 6) Costo.

Para trazado eléctrico de tubería abajo de 212°F, el aislamiento deberá ser repelente al agua y ser poco higroscópico. Los aislamientos que cumplen esta especificación son:

- a) Sílica expandida.
- b) Lana Mineral rígida repelente al agua.
- c) Vidrio celular.

Las dimensiones para accesorios prefabricados pueden ser encontradas en el ASTM C450-657 "Prefabricación y Fabricación en -- Campo de Cubiertas de Aislamiento Térmico para Accesorios y Tubería NPS".

Las cubiertas de aislamiento para válvulas, bridas, soportes -

de tubería y otro equipo de línea, deberán ser fabricados en bloques o segmentos curvados del mismo material y espesor usados para tubería recta adyacente. Los cementos aislantes deben ser usados para rellenar grietas y juntas. Este procedimiento asegura que se tengan pérdidas de calor uniformes a lo largo de toda la longitud de la línea.

Los cementos aislantes mezclados con agua usados para superficies irregulares provocan que se tenga entre un 25% y 50% menor eficiencia que los aislamientos preformados. Si se usan estos cementos aislantes deberán ser aplicados con un espesor proporcional a los materiales preformados en relación a la conductividad térmica de los materiales.

Ejemplo (4.6.1) Dada una tubería aislada con 1" de espesor de silicato de calcio.

$K$  = Conductividad térmica del aislamiento a una temperatura específica media.

$$K = 0.33 \text{ Btu-in/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

Encontrar: El espesor apropiado de cemento aislante a ser usado sobre válvulas, bridas, etc. El cemento tiene una

$$K = 0.49 \text{ Btu-in/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F a } 100^\circ\text{F.}$$

$t$  = Espesor del aislamiento en pulgadas.

Solución:

$$K_1/K_2 = t_1/t_2 \quad 0.33/0.49 = 1/t_2 \quad t_2 = 1.48"$$

Usar 1 1/2" de espesor de cemento.

Hay que tener cuidado que el cemento aislante sea aplicado en capas sucesivas de espesor uniforme, con cada capa asegurar que la superficie esté seca antes de aplicar la siguiente capa. Si así se requiere usar malla de refuerzo.

#### 4.6.2 Selección de Protección Contra el Medio Ambiente.

La operación apropiada de un sistema de trazado eléctrico depende en buena medida de que la superficie del aislante se encuentre seca. El trazado eléctrico normalmente tiene un calor de salida insuficiente para secar el exterior del aislamiento húmedo. Hay que tener cuidado ya que un aislamiento sometido a la humedad nunca recupera su integridad inicial.

Las tuberías rectas pueden ser protegidas del medio ambiente con una chaqueta de metal y/o un sistema de mastic. Cuando se use una chaqueta de metal, deberá ser lisa (nunca corrugada), y sus juntas longitudinales y circunferenciales deberán sellar perfectamente inclusive para proteger el aislamiento de una lluvia prolongada.

Cuando se use una chaqueta de metal, deberá ser cuidadosamente seleccionada para los requerimientos de un sistema particular.

Algunas consideraciones importantes son:

- 1.- En grandes áreas caústicas; el metal deberá ser acero inoxidable.
- 2.- Donde la protección contra el fuego es importante; el metal deberá ser acero inoxidable. (Para fuego en plantas - puede usarse aluminio cuando el sistema de protección contra el fuego funcione a los 50 ó 60 segundos de iniciado).
- 3.- Cuando la temperatura de la superficie sobrepase los límites de seguridad para el personal, no se deberá usar una cubierta metálica.

Todos los accesorios y tubería recta donde se especifique una protección contra la humedad de alto grado, deberán ser cubiertos con acetato de polivinilo o mastique acrílico, los cuales por su flexibilidad, no están expuestos a rupturas cuando se presenta contracción ó expansión.

Cuando se usa aislamiento rígido, este deberá ser sobredimensionado para dar el espacio necesario para el trazado eléctrico. Algunos tipos de aislamiento pueden ser comprimidos y entonces podrá ser de las dimensiones de la tubería.

En otro caso, las pérdidas de calor deberán ser calculadas para las dimensiones del aislamiento usado.

#### 4.6.3 Pérdidas de Calor a Través del Aislamiento Térmico.

Para determinar las pérdidas de calor reales para una serie de

condiciones dadas, una especificación completa de aislamiento, incluyendo la conductividad térmica a diversas temperaturas medias deberá ser considerada.

Todas las propiedades físicas y térmicas del aislante deberán ser evaluadas junto con la información concerniente a la protección exterior cualesquiera que sea.

Aislantes suaves (fibra mineral, fibra de vidrio, etc.) pueden ser ajustados a las dimensiones de la tubería y trazado por medio de bandas. Aislantes rígidos abrasivos pueden tener una línea interior de aislamiento del tipo mineral ó fibroso, el cual también puede ser considerado.

El aislamiento rígido (silicato de calcio, sílica expandida, vidrio celular, etc.), puede ser adaptado a las dimensiones de la tubería, estos requieren que se corten pequeñas secciones longitudinales para dar cabida al trazado. Como alternativa en el siguiente contexto se dan las dimensiones de aislante para tubería y como seleccionarlos.

Las pérdidas de calor deberán ser calculadas usando las dimensiones reales del aislamiento seleccionado. El proveedor del trazado deberá estar conciente si el aislamiento será comprimido para las dimensiones reales de la tubería y trazado, o si es

sobredimensionado dejando ámulos de aire. Los coeficientes de superficie del aislamiento interior variarán dependiendo del medio ambiente o si existen ámulos de aire. Las dimensiones reales del aislamiento, deberán también tener un efecto sobre los coeficientes de superficie del aislamiento exterior.

Se deberá conocer el espesor real del aislamiento, dado que el espesor real no siempre corresponde al espesor nominal. Dentro de la especificación ASTM C685-68 "Prácticas Estándar Recomendadas para Diámetros Interiores y Exteriores de Aislamiento Térmico Rígido para Dimensiones Nominales de Tubería", los espesores típicos son los siguientes: 1 1/2" de espesor nominal para una tubería de 4" NPS, tiene un espesor real de 1.54"; algunos espesores nominales de 1 1/2" llegan a tener un espesor real de 1.86" y como mínimo 1.43". Son pocas las circunstancias en las cuales una tubería pequeña tendrá grandes pérdidas de calor para las mismas condiciones que una tubería grande debido a la diferencia en el espesor del aislamiento.

Ejemplo (4.6.2) Dada una tubería de acero al carbón de 4" cédula 40, 1-1/2" de espesor de aislamiento de fibra de vidrio de una densidad de 7#, una temperatura a ser mantenida de 175°F, una temperatura ambiente abajo de 0°F, una chaqueta de aluminio oxidizado y una velocidad del viento de 25 millas/hr. Considerar un 10% de sobrediseño. Encontrar las pérdidas de calor.

Solución:

De la tabla de conductancia (4.6.1), se obtiene  $C_1 = 0.0887$

Convertir a silicato de calcio la fibra de vidrio de 7# usando un factor = 0.790 que se encuentra en la Tabla (4.6 .2).

$$C_i = 0.0887 \times 0.790$$

$$C_i = 0.0701$$

Ajustar para la  $\Delta T$  de la Tabla (4.6.3)

$$\Delta T = (T_p - T_a)$$

$$\Delta T = (175 - 0)$$

$$\Delta T = 175^\circ F$$

Ahora interpolar la tabla (4.6.3)

$$200^\circ F = 1.04$$

$$150^\circ F = 1.0$$

$$1.04 + 1.0 = 2.04$$

$$\text{Entonces } 2.04/2 = 1.02 \text{ a } 175^\circ F$$

Las pérdidas de calor son:

$$0.0701 \times 1.02 \times 175 = 12.51 \text{ watts/ft.}$$



ESPOSOR NOMINAL DE SILI CATO DE CALCIO.	DIAMETRO NOMINAL DEL AISLAMIENTO								
	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3	3-1/2"	4-1/2"	7"	9"
	DIAMETRO DE LA TUBERIA								
	1/2"	1"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	4"	6"	8"
1"	.0615	.0625	.0835	.0835	.0992	.0929	.1105	.1887	.2315
1-1/2"	.0453	.0503	.0587	.0587	.0752	.0753	.0887	.1395	.1689
2"	.0411	.0401	.0511	.0511	.0642	.0645	.0754	.1136	.1307
2-1/2"	.0364	.0365	.0460	.0460	.0555	.0572	.0655	.0968	.1120
3"	.0312	.0341	.0425	.0425	.0505	.0517	.0597	.0838	.1003
3-1/2"	.0294	.0318	.0391	.0391	.0457	.0479	.0547	.0757	.0910
4"	.0276	.0299	.0367	.0367	.0426	.0445	.0500	.0695	.0825

ESPOSOR NOMINAL DE SILI CATO DE CALCIO.	DIAMETRO NOMINAL DEL AISLAMIENTO								
	11"	14"	15"	17"	19"	21"	25"	31"	
	DIAMETRO DE LA TUBERIA								
	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	30"	
1"	.2757	.3247	.3459	.3883	.4307	.4731	.5581	.6862	
1-1/2"	.1951	.2483	.2641	.2975	.3294	.3612	.4135	.5243	
2"	.1575	.1963	.2085	.2339	.2584	.2829	.3224	.3938	
2-1/2"	.1353	.1638	.1743	.1949	.2143	.2342	.2659	.3239	
3"	.1198	.1451	.1537	.1715	.1888	.2073	.2340	.2842	
3-1/2"	.1068	.1289	.1355	.1508	.1657	.1806	.2064	.2476	
4"	.0969	.1151	.1217	.1351	.1483	.1591	.1821	.2200	

TABLA (4.6.1) Conductancia ( $C_i$ ) para aislamiento de silicato de - calcio, velocidad del viento de 25 millas por hora y  $T = 150^\circ\text{F}$  -- con 10% de sobrediseño.

$$C_i \times (T_p - T_a) = \text{watts/ft}$$

AISLAMIENTO	FACTOR
Vidrio Celular	1.213
Silica Expandida	1.063
Fibra de vidrio 7 #	0.790
Fibra de vidrio 4 #	0.688
Lana Mineral	0.955
Poliuretano	0.521

Tabla (4.6.2) Factores de corrección para otros aislamientos diferentes del Silicato de Calcio.

	$\Delta T = \text{Temp. de Proceso menos Temp. Ambiente}$							
AISLAMIENTO	50°F	100°F	150°F	200°F	250°F	300°F	400°F	500°F
Silicato de Calcio	.92	.96	1.00	1.04	1.06	1.10	1.16	1.22
Vidrio Celular	.90	.96	1.00	1.04	1.08	1.14	1.22	1.30
Silica Expandida	.92	.96	1.00	1.04	1.08	1.10	1.18	1.24
Fibra de Vidrio 7 #	.92	.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.22	1.32
Fibra de Vidrio 4 #	.94	.96	1.00	1.04	1.08	1.14	1.24	1.38
Lana Mineral	.94	.98	1.00	1.04	1.06	1.08	1.14	1.20
Poliuretano	.88	.94	1.00	1.08	1.14	-	-	-

Tabla (4.6.3) Factores de ajuste para otras diferencias de temperatura.

## 4.7 ESPECIFICACION GENERAL DE TRAZADO ELECTRICO, <sup>50</sup>

### 4.7.1 Generalidades.

#### a) Introducción.

Esta especificación señala los requisitos para el diseño, - selección de materiales e instalación de un sistema trazado eléctrico.

#### b) Alcance.

b.1) El trazado eléctrico se instalará en todas las líneas que conduzcan fluidos que necesiten mantener una temperatura adecuada, con el objeto de evitar taponamientos por solidificación en tuberías y accesorios en -- condiciones normales de operación ó paro.

b.2) El consumo de energía eléctrica así como el medio de calentamiento de tipo eléctrico serán seleccionados - de acuerdo a las necesidades del proceso.

b.3) Todas las unidades que requieren trazado eléctrico tales como equipo, instrumentos, tuberías de proceso y servicios auxiliares, etc. se deberán mostrar en los diagramas de tubería e instrumentación.

### 4.7.2 Diseño.

#### a) Arreglo General.

a.1) La extensión de los componentes que se localizarán en

los dibujos constructivos de tubería y los que se localizarán en campo se muestran en la Figura (4.7.1).

- a.2) Los componentes mostrados en los dibujos se localizarán en forma aproximada, la localización exacta se hará en campo de acuerdo a las necesidades de instalación.

#### 4.7.3 Requisitos Generales de Instalación.

##### 4.7.3.1 Antes de iniciar la Instalación.

- a) La tubería a ser trazada deberá estar completamente instalada y probada neumáticamente o hidrostáticamente antes de instalar el cable de calentamiento.
- b) Revisar identificación y diagramas para determinar con exactitud donde será instalado el cable de calentamiento.
- c) Probar el cable de calentamiento con un Megóhmetro para revisar posibles daños durante su fabricación. La lectura mínima del Megóhmetro para un calentador aceptable deberá ser de 100 megohms ( $1.0 \times 10^8$  ohms).

##### 4.7.3.2 Preparación de la Superficie de la Tubería.

- a) El propósito de limpiar la superficie de la tube-

ría y equipo es el de remover impurezas que reduzcan la transferencia de calor, además de favorecer la adherencia del cemento que transfiere calor.

- b) Usar solvente o un cepillo de alambre para limpiar la superficie por donde va a pasar el cable de calentamiento.
- c) Remover cualquier producto adherido (asfalto, sulfuros, parafinas, etc.) con solvente, removedor de pintura ó cepillo de alambre.
- d) Las cubiertas integrales (base metálica, cromato de zinc, etc.) no deben ser removidas.

#### 4.7.3.3 Instalación Temporal del Cable de Calentamiento sobre la Tubería.

- a) Durante la instalación, antes de instalar sellos, el cable no deberá estar sujeto a temperaturas de operación que excedan de los 120°F.
- b) El cable no deberá ser instalado en condiciones ambiente menores que 10°F o mayores que 120°F.
- c) Dejar una longitud de cable de calentamiento para proporcionar una longitud equivalente de acuerdo con la Tabla (4.5.1) para válvulas.

#### 4.7.3.4 Instalación de Sellos de Calentamiento.

- a) Iniciar la instalación en la terminal caliente y concluir en la terminal fría.
- b) Remover temporalmente la cubierta antes de colocar el sello de calentamiento sobre el cable. Colocar el sellador sobre el cable de calentamiento.
- c) Cuando el cable pase sobre bridas, uniones, codos o cualquier otro tipo de obstrucción, usar sello de calentamiento flexible sobre el cable. Cortar el sello rígido aproximadamente 3" antes de la obstrucción.
- d) Usar cemento que transfiere calor en lugares donde no fue instalado el sellador.

#### 4.7.3.5 Manejo y Almacenamiento del Cemento que Transfiere Calor.

- a) Se maneja en recipientes cilíndricos sellados de 1 gal. Pueden ser almacenados indefinidamente a temperaturas de bajo cero a 150°F. Su temperatura de operación máxima es de 700°F.
- b) El cemento solidifica aproximadamente a 30°F. Se deberá encontrar a un máximo de 40°F antes de ser aplicado.
- c) El cemento es muy alcalino y deberá ser mantenido lejos de los ojos, se aplica más convenientemente con-

las manos, las cuales pueden ser fácilmente lavadas con agua y jabón.

#### 4.7.3.6 Instalación del Termostato de Bulbo Sensible.

- a) Cortar una sección de sello de calentamiento rígido de la misma longitud que el termostato de bulbo y terminar con cemento usando una espátula. Poner el sellador sobre el bulbo del termostato y sobre la tubería y banda, usando dos bandas de acero inoxidable. El bulbo deberá ser localizado paralelamente al cable de calentamiento con una separación aproximada de 2" a 4". Ver figura (4.7.1).

#### 4.7.3.7 Revisión de la Instalación.

Revisar visualmente las instalaciones del sistema de calentamiento, para asegurar que toda la longitud del cable, tees y terminales estén apropiadamente cubiertas con el cemento que transfiere calor.

#### 4.7.3.8 Curado del Cemento que Transfiere Calor.

Deberá secarse al aire durante 24 horas ó hasta antes de instalar el aislamiento, para no dañar el acabado del cemento sobre el cable.

#### 4.7.3.9 Protección Ambiental.

Como algunos cementos son solubles al agua, y estos pue

den ser mojados por la lluvia, se usan cubiertas protectoras de polietileno o láminas de aluminio como protección temporal contra el medio ambiente hasta que el aislamiento sea instalado.

#### 4.7.3.10 Arranque.

No se requieren procedimientos especiales de arranque - aunque pasen largos períodos de tiempo entre la instalación y el arranque.

El detalle de instalación puede observarse en la figura (4.7.1).



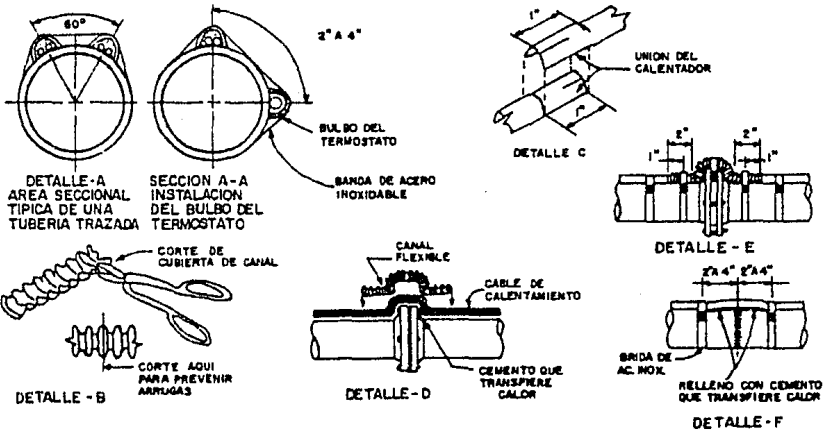
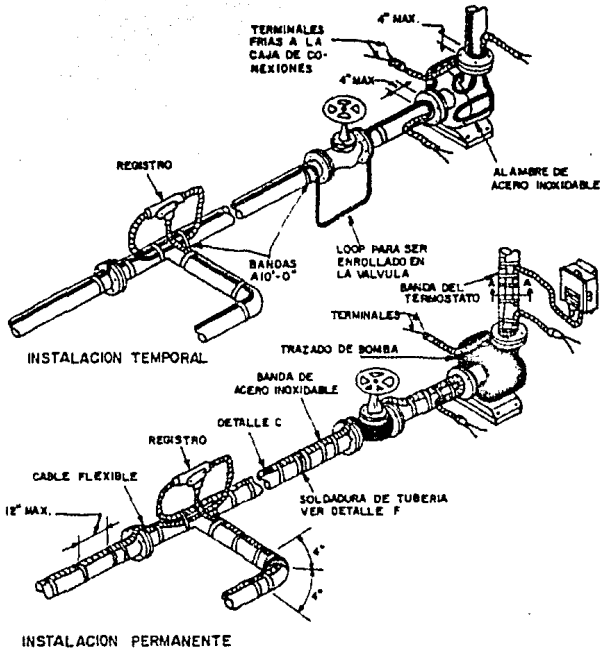


FIG. 4.7.1 DETALLE DE INSTALACION DE CABLE DE CALENTAMIENTO.

#### 4.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRAZADO ELECTRICO.

##### 4.8.1 Trazado con Resistencia Directa.

###### Ventajas:

1. Existe calentamiento uniforme en la superficie total de la tubería.
2. No está sujeto a quemarse.
3. No está sujeto a daño por abuso mecánico.
4. No requiere de sobredimensionamiento del aislante.

###### Desventajas:

1. Se manejan bajos voltajes para mantener niveles de seguridad.
2. La tubería es una parte integral del circuito eléctrico y no puede ser cambiada frecuentemente.
3. Acelera la corrosión galvánica.

##### 4.8.2 Trazado con Resistencias Indirectas.

En general, el calentamiento con resistencias indirectas tiene las siguientes ventajas: Fácil instalación, fácil reemplazo del sistema sin desmantelar la tubería. Como desventajas tiene: Está sujeto a quemarse, toda la superficie de la tubería no está sujeta a calentamiento uniforme.

Las ventajas y desventajas de los distintos tipos de resistencias se muestran a continuación.

**Ventajas:****a) Cables.**

1. Pueden ser cortados en campo, en longitudes requeridas.
2. Las envolturas de cobre reducen peligros graves.
3. Aguantan atmósferas corrosivas.

**b) Cintas.**

1. Muy flexibles
2. No requieren sobredimensionamiento.
3. Pueden ser usadas arriba de los 500°F.
4. No existen problemas por corrosión galvánica.
5. Las cintas continuas requieren cementos que transfieren calor solo en accesorios.
6. Se usan en codos, tes, cruces, bridas, válvulas, bombas, -  
etc.

**c) Bandas.**

1. Son relativamente flexibles.
2. Gran área de transferencia de calor.
3. No requieren sobredimensionamiento.
4. No existen problemas por corrosión galvánica.
5. Las bandas continuas requieren cementos que transfieren calor en accesorios si no se usan chaquetas.

**Desventajas:****a) Cables.**

1. Moderada flexibilidad.
2. Requieren sobredimensionamiento.
3. Susceptibles a daños cuando la tubería se expande o se contrae.
4. La corrosión galvánica puede ser un problema.
5. Requiere cementos que transfieren calor cuando el rendi- - miento es grande (más de 10 watts/ft de cable).

b) Cintas.

1. Sujetas a daños por abuso físico.
2. Muy susceptibles a quemarse.
3. Requieren cementos que transfieren calor para aumentar la eficiencia.

c) Bandas.

1. Limitadas a rangos de temperaturas de 300°F.
2. Para las tuberías largas se requieren múltiples fuentes de energía.

#### 4.8.3 Trazado por Inducción.

Ventajas:

1. Las espirales tienen una vida relativamente larga debido a -- las bajas temperaturas de operación.
2. Requieren de muy poco mantenimiento.
3. Resisten abusos mecánicos o físicos.
4. Puede, si es necesario, ser colocado sobre el aislamiento de -

la tubería.

5. Toda la superficie de la tubería es uniformemente calentada.
6. Secciones preenrolladas de tubería se encuentran disponibles.

Desventajas:

1. Solo pueden calentarse tuberías hechas de materiales ferromagnéticos.
2. Se requiere de un experto para diseñar el sistema.
3. Cada espiral puede pesar hasta 7 lb.
4. La tubería tiene que ser desmantelada para instalar la espiral.

CAPITULO V  
A P L I C A C I O N E S

## 5.1 INTRODUCCION.

Como se ha venido mencionando, los sistemas de trazado son aquellos que mantendrán constante una temperatura dados los requerimientos del proceso. En este caso particular se aplicarán a una Planta Reductora de Viscosidad en la cual dados los fluidos que se manejan y las condiciones de proceso que se tienen, es necesario mantener una temperatura mínima especificada en caso de paro de la planta, ya que los fluidos manejados tienen una elevada temperatura de escurrimiento, es decir, que por debajo de esta temperatura solidifican lo cual acarrea graves problemas en el momento del arranque y los daños causados serían considerables. Es aquí donde el sistema de trazado elimina el problema, dado que impide la solidificación de la carga dentro de las líneas en caso de un paro temporal, o bien proporciona un calentamiento uniforme de tal modo que permite el arranque después de un paro prolongado.

Esta es una de las muchas aplicaciones de los sistemas de trazado de vapor y trazado eléctrico y el objetivo es precisamente evaluar tanto técnica como económicamente a cada uno de ellos aplicándolos en la Unidad Reductora de Viscosidad en la cual la carga es residuo de vacío proveniente de una unidad de destilación al vacío y el producto es Gas, Nafta, Gasóleo, y residuo, para poder así dar la mejor recomendación en cuanto a la aplicación de uno u otro sistema. Para esto principiaremos dando una descripción general de la planta y posteriormente proceder con el diseño del sistema.

## 5.2 BASES DE DISEÑO.

### 5.2.1 Generalidades.

#### a) Función de la Planta.

La planta será diseñada para obtener a partir del residuo de la Unidad al Vacío, un producto de menor viscosidad para ser comercializado como combustóleo.

#### b) Tipo de Proceso.

Desintegración térmica moderada de una carga de residuo de vacío y su posterior fraccionamiento por destilación atmosférica con arrastre de vapor. Los productos efluentes de la planta serán: Gas, Gasolina, Gasóleo y Combustóleo.

### 5.2.2 Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad.

#### a) Factor de Servicio.

El factor de servicio se considerará en función del diseño del horno de reducción con un tiempo de corrida de 4 a 6 meses del mismo, pudiéndose optar por un valor normal de 95% para el resto del equipo.

#### b) Capacidad.

La planta deberá ser diseñada para procesar 50,000 BPD. La capacidad normal será igual a la de diseño.

La capacidad mínima de operación será al 50% de la capacidad de diseño.



## c) Flexibilidad.

La unidad operará normalmente en serie con la Unidad de Destilación al Vacío.

## d) Por Falla de Servicios.

La planta no seguirá operando a falla de electricidad, vapor, agua de enfriamiento o aire de instrumentos. La planta deberá de tener facilidades para realizar un paro ordenado.

En caso de que ocurra cualquiera de estas fallas, la carga se enviará a mezcla de combustóleo.

## 5.2.3 Especificación de la Alimentación.

## a) Las características principales del residuo de vacío son:

Temperatura de corte TBP, °C	516.00
Densidad, °API	6.26
Factor de Caracterización	11.42
Viscosidad, cst, 98°C	766.00
Viscosidad, cst, 121.1 °C	231.00
Azufre, % Peso	3.88
Insolubles en n-pentano, % Peso	20.46
Insolubles en n-heptano, % Peso	14.97
Carbón, % Peso	20.26

## b) Aceite Cíclico Ligero.

TBP °C	221-366
°API	16.9

#### 5.2.4 Especificación de los Productos.

##### a) Gas.

El rendimiento y composición de gases se definirá de acuerdo a la descomposición térmica en el horno de la reductora y al equilibrio físico en el tanque acumulador.

##### b) Gasolina.

Se ajustará el corte de gasolina de tal manera de obtener un producto con una temperatura final de ebullición de 225°C.

##### c) Gasóleo.

El gasóleo generado en la unidad deberá tener una temperatura final de ebullición de 400°C y un punto de inflamación de 56°C como mínimo.

##### d) Combustóleo.

La temperatura de inflamación para el combustóleo deberá tener un valor mínimo de 66°C.

#### 5.2.5 Alimentación en Límites de Batería.

La planta será diseñada para recibir las cargas a las siguientes condiciones:

Alimentación	Estado Físico	Presión Man. Kg/cm <sup>2</sup>	Temp. °C Máx/Nor.	Forma Recibo
Residuo de Vacío	Líquido	4.5	293/277	Tubería
Aceite cic.Lig.	Líquido	15.5	204/49	Tubería

#### 5.2.6 Productos en Límites de batería.

Producto	Estado Físico	Presión Man. Kg/cm <sup>2</sup> .	Temperatura °C	Forma de entrega.
Gas a FCC	Gas	5.6	*	Tubería
Gas a red de Combustible	Gas	5.5	38	Tubería
Nafta a FCC	Líquido	16.5	38	Tubería
Gasóleo a - mezcla de - diesel.	Líquido	14.1	49	Tubería
Combustóleo a almacenamiento.	Líquido	14.1	90	Tubería

\* Condiciones de descarga de la compresora de gas.

## 5.2.7 Servicios Auxiliares.

### a) Vapor

N i v e l	Condiciones de Diseño		Calidad
	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatura(°C)	
Alta			
Presión	56.6	471	Sobrecalentado
Media			
Presión	17.6	270	Sobrecalentado
Baja			
Presión	3.5	148	Saturado

### b) Retorno de Condensados.

El condensado de exportación se entregará en L.B. a las siguientes condiciones:

Presión Normal: 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>  
 Temperatura: 148.0°C

## c) Agua de Enfriamiento.

Las condiciones del agua de enfriamiento en L.B. serán las siguientes:

	Presión Man. Kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura °C
Entrada :	4.2	32.2
Salida :	2.5 mínima	43.3
Disponibilidad:	La requerida	

## d) Agua para Caldera.

El agua para caldera, se suministrará tratada y desaerada. Las condiciones de suministro en L.B. serán las siguientes:

Presión Normal: 24.7 Kg/cm<sup>2</sup> Man. (Para vapor de media)  
 7.0 Kg/cm<sup>2</sup> Man. (Para vapor de baja)  
 Temperatura Normal: 100°F

## e) Aire de Instrumentos.

El aire de instrumentos será suministrado en L.B. con las siguientes condiciones:

Presión : 4.0 Kg/cm<sup>2</sup> Man.  
 Temperatura : 38.0 °C  
 Temperatura de Rocío:

Máxima -10.0 °C  
 Normal -20.0 °C  
 Mínima -32.0 °C

## f) Aire de Planta.

Será suministrado en L.B. a las siguientes condiciones:

Presión : 5.0 Kg/cm<sup>2</sup> Man.

Temperatura : 38.0 °C.

g) Combustible.

El gas combustible tendrá las siguientes características:

Naturaleza : Gas

Composición Típica: 98.8% Metano, 0.97% Etano, 0.02% Propano,  
0.70% Nitrógeno, 0.10% Acido Sulhídrico,  
7 ppm de humedad máxima.

Peso Molecular : 18.06

Densidad Relativa: 0.625

Poder Calorífico

Bajo (LHV) : 8300.00 Kcal/m<sup>3</sup>

Presión en L.B. : 3.50 Kg/cm<sup>2</sup>

Temperatura en L.B.: 38.00 °C

Disponibilidad : La requerida

Combustóleo.

Será proporcionado en L.B. y tendrá las siguientes caracterís-  
ticas:

Naturaleza : Líquido

Presión en L.B. : 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>

Temperatura en L.B.: 35.0 °C

Densidad Relativa : 1.0 Máx., 0.99 Mín.

Poder Calorífico

Bajo (LHV) : 10,110 Kcal/Kg. máx.

9,600 Kcal/kg. nor.

9,360 Kcal/kg. mín.

Temperatura de

ignición : 66.0 °C mín.

Disponibilidad : La requerida.

h) Agentes Químicos.

Fosfatos.

Estado Físico : Sólido

Forma de Recibo : Costales

i) Alimentación de Energía Eléctrica.

Se suministrará a través de dos alimentadores y con las siguientes especificaciones:

Tensión : 13,800 Volts.

Número de fases : 3

Frecuencia : 60 ciclos

Factor de Potencia  
mín. : 0.60

Núm. de Conductores: Dos por fase

Material de Conductor. : Cobre Electrolítico

Diámetro del Ducto: 101 mm

Material del Ducto: Tubo metálico

Acometida : Subterránea

j) Energía Eléctrica de Emergencia.

Se contará con un sistema de corriente de emergencia para a--

lumbrado y para equipo crítico que de facilidades de efectuar un paro ordenado.

k) Desfogue.

Deberá contarse con un sistema de desfogues calientes de emergencia y por lo tanto existirá un sistema de abatimiento rápido de presión y temperatura, así como recuperación posterior del material desfogado ya frío hacia recuperados.

Todas las válvulas de seguridad que manejan hidrocarburos, -- deberán descargar a un sistema cerrado, incluyendo las válvulas de seguridad que se instalen en la parte superior de las torres, ya que es frecuente que operen estos dispositivos bajo diversas condiciones y que provoquen riesgos de descarga a la atmósfera.

### 5.2.8 Condiciones Climatológicas.

a) Temperatura (De los últimos cinco años).

Máxima Extrema	:	40.2 °C
Mínima Extrema	:	14.4 °C
Máxima	:	38.0 °C
Mínima Promedio	:	17.0 °C
Promedio	:	27.0 °C
Promedio del mes más caliente.	:	39.5 °C
Promedio del mes más frío:	:	16.4 °C

Temperatura de Bulbo Húmedo promedio : 28.0 °C

Temperatura de Bulbo Seco para Diseño  
de Enfriadores con Aire. : 38.0 °C

b) Precipitación Pluvial (De los últimos cinco años).

Horaria Máxima : 82.2 mm.

Máxima en 24 hrs. : 348.0 mm.

c) Vientos.

Dirección de vientos dominantes : NO - SE

Dirección de vientos reinantes : N - S

Velocidad Media : 70 Kw/hr.

Velocidad Máxima : 200 Kw/hr.

d) Humedad Relativa.

Máxima : 96.9%

Mínima : 37.7%

e) Atmósfera.

Presión Atmosférica : 760 mmHg.

Atmósfera Corrosiva : sí

Brisa Marina : sí

5.2.9 Localización de la Planta.

La planta estará localizada en Salina Cruz, Oaxaca.



## 5.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (B.M.E.)

El Diagrama de Flujo de Proceso es un documento de primordial importancia que proporciona una visión general del proceso, y es fundamental para la elaboración e interpretación de documentos básicos como lo son el Plano de Localización General y los Diagramas de Tubería e Instrumentación. En el se muestra el equipo de proceso, así como sus principales características, las entradas y salidas de límites de batería, la relación que existe con otras plantas y la identificación de las distintas corrientes del proceso, lo cual conjuntamente con el Balance de Materia y Energía nos proporciona la información básica para el desarrollo de las demás actividades del proyecto.

El Diagrama de Flujo de Proceso y el Balance de Materia y Energía se muestran en el DFP: 01

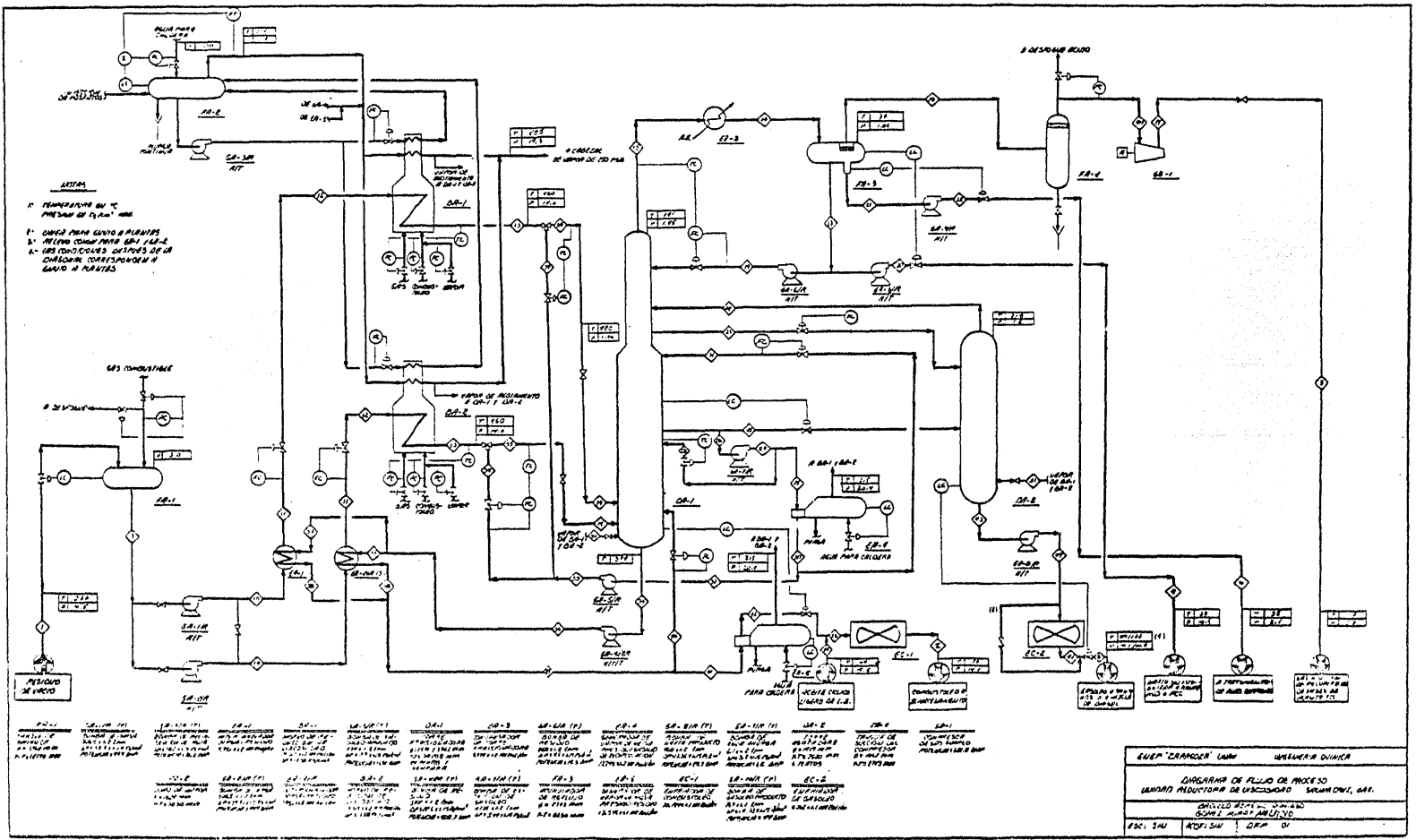
## BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

A Corriente No. (Fase)	1 Liq.	2 Liq.	3 Liq.
B Componente	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C Gases	0.000	0.030	0.008
D Gasolina	0.000	1.931	4.777
E Gasóleo	0.368	139.761	144.385
F Residuo	565.766	450.532	2.370
G Agua	0.000	0.000	0.000
H Total Kgmol/Hr.	566.134	592.243	151.539
I Flujo Total Kg/Hr.	339964.000	286113.000	34274.000
J Temperatura (°C)	277.000	90.000	62.222
K Presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) Man.	4.500	14.100	14.100
L Factor de Watson	11.414	11.484	11.718
M Densidad API	6.237	11.145	33.509
N BPD a 60°F	50000.000	43579.500	6038.900
O MMBSD 20°C, 1 Kg.	337.747	353.327	90.406
P LPM a P y T	6129.200	4980.600	679.000
Q M <sup>3</sup> /seg a P y T			

## BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

A	4 Líq.	5 Vap.	6 Líq.	9 Líq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	22.066	247.417	0.000	0.000
D	174.969	37.393	0.000	0.000
E	1.311	0.000	0.000	0.368
F	0.000	0.000	0.000	565.766
G	0.000	9.232	201.689	0.000
H	198.348	294.042	201.639	566.134
I	19677.000	11202.000	3634.000	339964.000
J	37.780	116.970	37.780	277.000
K	16.500	5.800	2.100	3.000
L	12.216	14.202	8.758	11.414
M	66.721	144.545	10.000	6.237
N	4164.800	3302.000	549.000	50000.000
O	118.330	175.421	120.325	337.747
P	467.800		61.400	6129.200
Q		0.362		

A	10 Líq.	11 Líq.	12 Líq.	13 Mez.
B	Kgmol/Hr.	Kgmol/Hr.	Kgmol/Hr.	Kgmol/Hr.
C	0.000	0.000	0.000	134.754
D	0.000	0.000	0.000	108.764
E	0.184	0.184	0.184	119.285
F	282.883	282.863	282.883	226.061
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	283.067	283.067	283.067	588.864
I	169982.000	169982.000	169982.000	169982.000
J	277.000	348.660	348.680	460.000
K	42.890	40.780	31.640	14.060
L	11.414	11.414	11.414	11.633
M	6.237	6.237	6.237	20.281
N	25000.000	25000.000	25000.000	27549.100
O	168.874	168.874	168.874	351.308
P	3064.600	3150.300	3150.300	
Q				



- NOTAS
1. TEMPERATURA EN °C PRESIÓN EN PSIA
  2. CARGA PARA CUIDO A PLANTAS
  3. RECIBO COMPARTE 601 160-2
  4. GAS TIOXIDO DE SOFOS DE UN CILINDRO CONECTADO EN CUIDO A PLANTAS

Módulo de Recambio de Oxy. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide	
601-1	601-2	601-3	601-4	601-5	601-6	601-7	601-8	601-9	601-10	601-11	601-12	601-13	601-14	601-15	601-16	601-17	601-18	601-19	601-20
DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD	
Módulo de Recambio de Oxy. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide		Módulo de Recambio de Ox. de Oxide	

EQUIP "CRANER" LEWIS      WRENNER QUINER  
 DISEÑO DE FOLIO DE PROCESO  
 (MÓDULO PRODUCTOR DE UNOXIDO SODICO, 601)  
 DISEÑO EN LA ESCALA DE 1:1000  
 ESCALA DE 1:1000  
 FOLIO 340      TOTAL 340      DE 340

## BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

A	14 Mez.	15 Vap.	16(3 Fases)	17 Liq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	135.024	310.023	310.023	62.606
D	111.961	533.815	533.815	496.423
E	223.592	3.720	3.720	3.720
F	228.428	0.000	0.000	0.000
G	0.000	210.920	210.920	0.000
H	699.005	1058.479	1058.479	562.748
I	196073.000	70664.000	70664.000	55828.000
J	419.600	141.360	37.780	37.780
K	1.760	1.450	1.050	1.050
L	11.641	12.353	12.353	12.216
M	21.832	76.142	76.142	66.721
N	32102.500	15667.500	15667.500	11816.400
O	417.016	631.473	631.473	335.727
P				1327.300
Q				
A	18 Vap.	19 Liq.	20 Liq.	21 Liq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	247.417	40.540	22.066	0.000
D	37.393	321.454	174.969	0.000
E	0.000	2.409	1.311	0.000
F	0.000	0.000	0.000	0.000
G	9.232	0.000	0.000	201.689
H	294.042	364.403	198.346	201.689
I	11202.000	36151.000	19677.000	3634.000
J	37.780	37.780	37.780	37.780
K	1.050	5.670	18.420	1.050
L	14.202	12.216	12.216	8.758
M	144.545	66.721	66.721	10.000
N	3302.000	7651.600	4164.800	549.000
O	175.421	217.397	118.330	120.325
P		859.000	467.800	61.400
Q	1.011			

A	22 Līq.	23 Līq.	24 Vap.	25 Līq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	0.000	0.509	0.761	0.260
D	0.000	18.795	17.043	3.079
E	0.000	64.287	20.149	100.440
F	0.000	0.015	0.000	2.279
G	201.689	0.000	58.513	0.000
H	201.689	83.606	96.465	106.058
I	3634.000	15235.000	7149.000	25124.000
J	37.780	213.990	217.550	293.780
K	4.230	1.560	1.560	1.670
L	8.758	11.835	11.446	11.695
M	10.000	41.207	40.691	31.937
N	549.000	2809.500	1314.400	4384.500
O	120.325	49.878	57.550	63.272
P	61.400	352.600		572.700
Q				

A	26 Līq.	27 Līq.	28 Līq.	29 Līq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	5.324	5.324	0.992	4.332
D	63.089	63.089	11.760	51.330
E	2058.126	2058.126	383.628	1674.498
F	46.703	46.703	8.705	37.998
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	2173.242	2173.242	405.085	1768.157
I	514812.000	514812.000	95959.000	418853.000
J	293.780	293.780	293.780	293.780
K	1.670	7.120	1.700	7.120
L	11.695	11.695	11.695	11.695
M	31.937	31.937	31.937	31.937
N	89843.400	89843.400	16746.500	73096.900
O	1296.525	1296.525	241.668	1054.857
P	11734.700	11734.700	2187.300	9547.400
Q				

A	30 Liq.	31 Liq.	32 Liq.	33 Liq.
B	Kgmo1/Hr	Kgmo1/Hr	Kgmo1/Hr	Kgmo1/Hr
C	4.332	3.792	0.540	0.540
D	51.330	44.935	6.395	6.395
E	1674.498	1465.884	208.614	208.614
F	37.998	33.264	4.734	4.734
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	1768.157	1547.875	220.282	220.282
I	418853.000	366671.000	52182.000	52182.000
J	232.220	232.220	232.220	232.220
K	5.670	1.590	5.670	8.550
L	11.695	11.695	11.695	11.695
M	31.937	31.937	31.937	31.937
N	73096.900	63990.300	9106.600	9160.600
O	1054.857	923.440	131.417	131.417
P	9107.400	7972.800	1134.600	1134.600
Q				

A	34 Liq.	35 Liq.	36 Liq.	37 Liq.
B	Kgmo1/Hr	Kgmo1/Hr	Kgmo1/Hr	Kgmo1/Hr
C	0.270	0.029	0.029	0.015
D	3.197	0.407	0.407	0.204
E	104.307	99.540	99.540	49.770
F	2.367	482.067	482.067	241.034
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	110.141	582.038	582.038	291.019
I	26091.000	294733.000	294733.000	147366.000
J	232.200	393.530	393.530	353.530
K	5.260	1.790	24.420	24.140
L	11.695	11.474	11.474	11.474
M	31.937	10.240	10.240	10.240
N	4553.300	44607.600	44607.600	22303.800
O	65.709	347.235	347.235	173.618
P	567.300	5802.300	5802.300	2901.200
Q				

A	38 Liq.	39 Liq.	40 Liq.	41 Liq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	0.015	0.029	0.002	0.027
D	0.204	0.407	0.027	0.380
E	49.770	99.540	6.671	92.870
F	241.034	482.067	32.305	449.762
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	291.019	582.038	39.004	543.034
I	147366.000	294733.000	19751.000	274982.000
J	315.560	315.560	315.560	315.560
K	20.410	20.410	20.410	20.410
L	11.474	11.474	11.474	11.474
M	10.240	10.240	10.240	10.240
N	22303.800	44607.600	2989.300	41618.300
O	173.618	347.235	23.269	323.966
P	2794.900	5802.300	374.600	5215.300
Q				

A	42 Liq.	43 Liq.	44 Liq.	45 Liq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	0.027	0.008	0.008	0.002
D	0.380	4.777	4.777	1.551
E	92.870	144.385	144.385	46.891
F	449.762	2.370	2.370	0.770
G	0.000	0.000	0.000	0.000
H	543.034	151.539	151.539	49.215
I	274982.000	34274.000	34274.000	11131.000
J	237.780	256.770	256.770	49.000
K	18.300	1.650	17.400	15.500
L	11.474	11.718	11.718	11.718
M	10.240	33.509	33.509	33.509
N	41618.300	6038.900	6038.900	1961.200
O	323.966	90.406	90.406	29.361
P	5048.900	768.800	768.800	220.500
Q				

A	47 Lfq.	48 Vap.	49 Vap.	50 Vap.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	0.008	247.417	247.417	0.000
D	4.777	37.393	37.393	0.000
E	144.385	0.000	0.000	0.000
F	2.370	0.000	0.000	0.000
G	0.000	9.232	9.232	152.407
H	151.539	294.042	294.042	152.407
I	34274.000	11202.000	11202.000	2746.000
J	82.222	37.780	116.970	270.000
K	15.150	0.910	5.980	17.000
L	11.718	14.202	14.202	8.758
M	33.509	144.545	144.545	10.000
N	6038.900	3302.000	3302.000	414.900
O	90.406	175.421	175.421	90.924
P	679.000			
Q		1.086	0.372	0.103

A	51 Vap.	55 Mez.	56 Lfq.
B	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr	Kgmol/Hr
C	0.000	135.024	0.030
D	0.000	111.961	1.931
E	0.000	223.592	139.761
F	0.000	228.428	450.532
G	58.513	0.000	0.000
H	58.513	669.005	592.248
I	1054.000	196073.000	286113.000
J	270.000	424.110	166.140
K	17.000	3.400	15.150
L	8.758	11.641	11.484
M	10.000	21.832	11.145
N	159.300	32102.500	43579.500
O	34.908	417.016	353.327
P			5142.000
Q	0.040		



#### 5.4 PLANO DE LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPO.

El plano de localización general de equipo es un documento fundamental en el diseño y construcción de una planta de proceso, en el se muestran distribuidos y localizados todos y cada uno de los equipos, además de edificios y localización de áreas funcionales; como áreas de almacenamiento y cuartos de control, así como racks de tubería, servicios auxiliares, caminos y vías de acceso y todo lo necesario para una operación eficiente de la planta.

En particular, el plano de localización general de equipo para la Unidad Reductora de Viscosidad, muestra la localización de los equipos que intervienen en el proceso y sus características más importantes. Este plano elaborado a escala, proporciona las longitudes aproximadas de las tuberías que interconectan los equipos de proceso. Esta información es necesaria para llevar a cabo la evaluación de los Sistemas de Trazado.

El arreglo de equipo para la Planta Reductora de Viscosidad se muestra en el Plot - Plan: 01



## 5.5 DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION.

En los diagramas de tubería e instrumentación se muestra la interconexión de las tuberías con los equipos de proceso, instrumentación básica, características de las tuberías y equipos que en ellos se muestran, así como sus requerimientos de servicios auxiliares y la relación con los demás DTI's.

En estos diagramas se identifican las tuberías con requerimientos de trazado con una línea punteada adyacente a la línea de proceso.

Estos diagramas proporcionan la información necesaria para identificar perfectamente todas y cada una de las tuberías con requerimientos de trazado.

Los diagramas de tubería e instrumentación de la Planta Reductora de Viscosidad se muestran en los siguientes dibujos; DTI: 01 a DTI: 06.

## 5.6 DESCRIPCION DEL PROCESO.

La Unidad Reductora de Viscosidad está diseñada para procesar 50,000 -- BPD de residuo de vacío proveniente de la Unidad de Destilación al Vacío, obteniendo como productos Gas, Nafta, Gasóleo y Residuo de Reducción de Viscosidad.

La planta constará de cuatro secciones distintas: sección de carga y -- reacción, donde se llevará a cabo el precalentamiento y la conversión -- parcial del residuo de vacío a productos más ligeros; sección de frac-- cionamiento, donde se realizará la separación por destilación de los -- productos de reacción; sección de compresión de gas, donde se elevará = la presión de este producto para cumplir con el valor de entrega en lí-- mites de batería establecido en las Bases de Diseño; y sistemas de gene-- ración de vapor, donde se recuperará parte del calor suministrado al -- proceso mediante generación de vapor. Para la descripción de las dife-- rentes secciones del proceso que se presenta a continuación, se hace re-- ferencia a claves de equipo mostradas en el Diagrama de Flujo de Proce-- so.

### 5.6.1 Sección de Carga y Reacción.

El residuo de vacío proveniente de la Unidad de Destilación al -- Vacío entra a control de nivel, al Tanque de Balance FA-1. De -- aquí, la alimentación se envía mediante las Bombas de Carga GA-1/R y GA-2/R a dos trenes de precalentamiento idénticos, constituí-- dos por los Intercambiadores Carga-Residuo EA-1 y 2/R a control-

de flujo localizado a la entrada de los Hornos de Reducción de Viscosidad BA-1 y 2.

La carga se calienta en los Intercambiadores Carga-Residuo y pasa a los Hornos de Reducción de Viscosidad, en estos hornos se efectúa la conversión parcial del residuo de vacío a destilados y gases; la conversión de residuo se regula mediante el control de la temperatura de salida de los hornos. El efluente de los hornos se enfría por mezcla con control en cascada temperatura-flujo, con una corriente de gasóleo de apagado proveniente de una extracción intermedia de la Torre Fraccionadora DA-1, y se alimenta a la sección inferior de la misma torre.

#### 5.6.2 Sección de Fraccionamiento.

La sección de fraccionamiento está constituida por la Torre Fraccionadora DA-1, la Torre Agotadora DA-2, el Circuito de Gasóleo y el Circuito de Residuo.

##### 5.6.2.1 Torre Fraccionadora.

La Torre Fraccionadora DA-1 consta de tres secciones:

- a) Sección de Agotamiento, cuyo objeto es ajustar la temperatura de inflamación del residuo, por medio de vapor de agotamiento. La temperatura del residuo en fondos se controla mediante una recirculación de residuo frío, proveniente del circuito de residuo.

- b) Sección de Lavado y Apagado de Gases, cuyo objeto es evitar la contaminación del gasóleo con compuestos pesados. Para este fin, se alimenta al plato superior de esta sección una corriente de gasóleo, proveniente de la sección de fraccionamiento de gasolina-gasóleo de esta torre, a control de temperatura del vapor de salida de dicho plato.
- c) Sección de Fraccionamiento de Gasolina-Gasóleo, cuyo objeto es proporcionar un fraccionamiento adecuado entre la nafta y el gasóleo y obtener una corriente de recirculación a temperatura suficientemente alta para recuperar calor generando vapor de 250 psig. Para este fin, el gasóleo de reductora de viscosidad se extrae de esta sección en dos cortes: una fracción ligera, que se envía a control de flujo al domo de la Torre Agotadora, y una fracción pesada, que se envía a control de nivel de la misma Torre Agotadora.

Por la parte superior de esta sección se obtiene una mezcla de gases, nafta y vapor de agua, la cual, después de pasar al Condensador de la Torre Fraccionadora EA-3, se separa en el Acumulador de Reflujo FA-3 en: una fase vapor, que se envía a la sección de compresión de gas; una fase acuosa que se envía por medio de la Bomba de Agua Amarga, a control de nivel -

de esta fase; y una fase líquida de hidrocarburos - - constituida por la nafta no estabilizada producto y - por el reflujo de la Torre Fraccionadora. La frac- - ción correspondiente al reflujo se envía al domo de - la torre a control de flujo en cascada con control de temperatura del vapor de domos por medio de la Bomba de Reflujo GA-6/R, mientras que el producto se envía a control de nivel de la Unidad Hidrodesulfuradora, - mediante la Bomba de Nafta Producto GA-8.

La extracción total de líquido está constituida por - la fracción pesada del gasóleo, que se envía directa- mente a control de nivel de la Torre Agotadora, y por el reflujo interno de la sección de lavado y apagado, el gasóleo de apagado del efluente del horno y el gas- óleo de extracción de calor, que pasan a la Bomba de Extracción de Gasóleo GA-7/R; el líquido de reflujo - interno se envía a control de temperatura al plato su perior de la sección de lavado y apagado, mientras -- que el gasóleo de apagado del efluente del horno y el de la extracción de calor pasan al circuito de gasó- leo a enfriamiento al Generador de Vapor de 250 psig. EA-4.

#### 5.6.2.2 Torre Agotadora.

La Torre Agotadora DA-2, utiliza vapor de agotamiento -

para ajustar la temperatura de inflamación del gasóleo, este se alimenta a esta torre en dos fracciones provenientes de la Torre Fraccionadora. El vapor de domos se envía a la Torre Fraccionadora; el líquido de fondos se extrae a control de nivel mediante la Bomba de Gasóleo Producto GA-10. En caso de envío del gasóleo a la Unidad Desulfuradora de Gasóleo Pesado o a Unidades desulfuradoras existentes, la corriente sale de este punto directamente a límites de batería; en caso de envío al sistema de mezcla de diesel, el gasóleo pasa al Enfriador de Gasóleo Producto EC-2 antes de salir de límites de Batería.

#### 5.6.2.3 Circuito de Gasóleo.

El gasóleo de apagado del efluente del horno y el de extracción de calor, provenientes de la Bomba de Extracción de Gasóleo, pasan al Generador de Vapor de 250 - - Psig, gasóleo de recirculación EA-4; de aquí, el gasóleo de extracción de calor es recirculado a la torre -- fraccionadora, a control de flujo, mientras que el gasóleo de apagado es enviado a las líneas de salida de los Hornos de Reducción de Viscosidad, a control de flujo - en cascada con control de temperatura de la mezcla, mediante la Bomba de Gasóleo de Apagado GA-5/R.

#### 5.6.2.4 Circuito de Residuo.



El líquido de fondos de la Torre Fraccionadora se extrae a control de nivel por medio de la Bomba de Residuo GA-4 /R y pasa a los Intercambiadores Carga-Residuo EA-1 y - 2/R, donde se recupera parte del calor que contiene esta corriente precalentando la carga. En este punto se separa la corriente que se utiliza para enfriamiento -- del fondo de la fraccionadora, la cual se recircula a esta torre, a control de flujo de fondos. El residuo - producto se envía a continuación al Generador de vapor de 250 psig, Residuo EA-5. De aquí, el residuo se envía al sistema de mezcla de combustóleo de la Refinería.

#### 5.6.3 Sección de Compresión de Gas.

El gas amargo proveniente del Acumulador de Reflujo FA-3 pasa al Tanque de Succión del Compresor FA-4 y de aquí, a control de presión, al Compresor de Gas Amargo GB-I, que lo envía a la Sección de Recuperación de Gases de la Unidad de Craqueo catalítico Lecho Fluido.

#### 5.6.4 Sistemas de Generación de Vapor.

La Unidad Reductora de Viscosidad cuenta con un sistema de generación de vapor de 250 psig que permite la recuperación parcial del calor suministrado al proceso.

El sistema de generación de vapor de 250 psig recibe agua para -

caldera desaerada en un Domo de Vapor FA-2, que alimenta a un -- serpentín de cada Horno de Reducción de Viscosidad mediante la -- Bomba de Circulación de Agua GA-3/R. Existen además entradas de agua para caldera desaerada independientes, a control de nivel, - al Generador de Vapor de 250 psig-Gasóleo y al Generador de Vapor de 250 psig-Residuo. El vapor generado en estos equipos se une - al proveniente del domo de vapor; una parte de este total se so-- brecalienta en un serpentín de cada horno y se utiliza como vapor de agotamiento en las torres fraccionadora y agotadora, mientras- que el resto se envía al cabezal de vapor de 250 psig de la Refi- nería y se envía al cabezal principal.

#### 5.6.5 Definición de la Temperatura de Trazado.

Este es uno de los factores más importantes en el diseño del sis- tema, debido a que de ningún modo se pretende mantener una tempe- ratura similar a la de proceso, sino una tal que permita conser- var ciertas propiedades de los fluidos dentro del sistema y así- evitar problemas como solidificaciones, situación que provocará- problemas tanto de operación como en el equipo.

Esta temperatura es evidentemente más baja que la de proceso y - se determina en este caso en función de la temperatura de escu-- rrimiento, a la cual, el fluido empieza a solidificar. De hecho esta temperatura no es la misma en distintos puntos del proceso, sin embargo es conveniente fijarla considerando la condición más crítica, es decir, la temperatura más alta y tomarla como base -

para el diseño de los sistemas, dado que resultaría antioperante diseñar para cada una de las temperaturas que se presentan, además del elevado costo.

La temperatura se fija de 10 a 15°F por arriba de la máxima temperatura de escurrimiento, dado que la solidificación no se lleva a cabo a temperatura constante. Esta temperatura ha sido fijada por las condiciones de proceso en 180°F y con ella se diseñarán los sistemas de trazado.

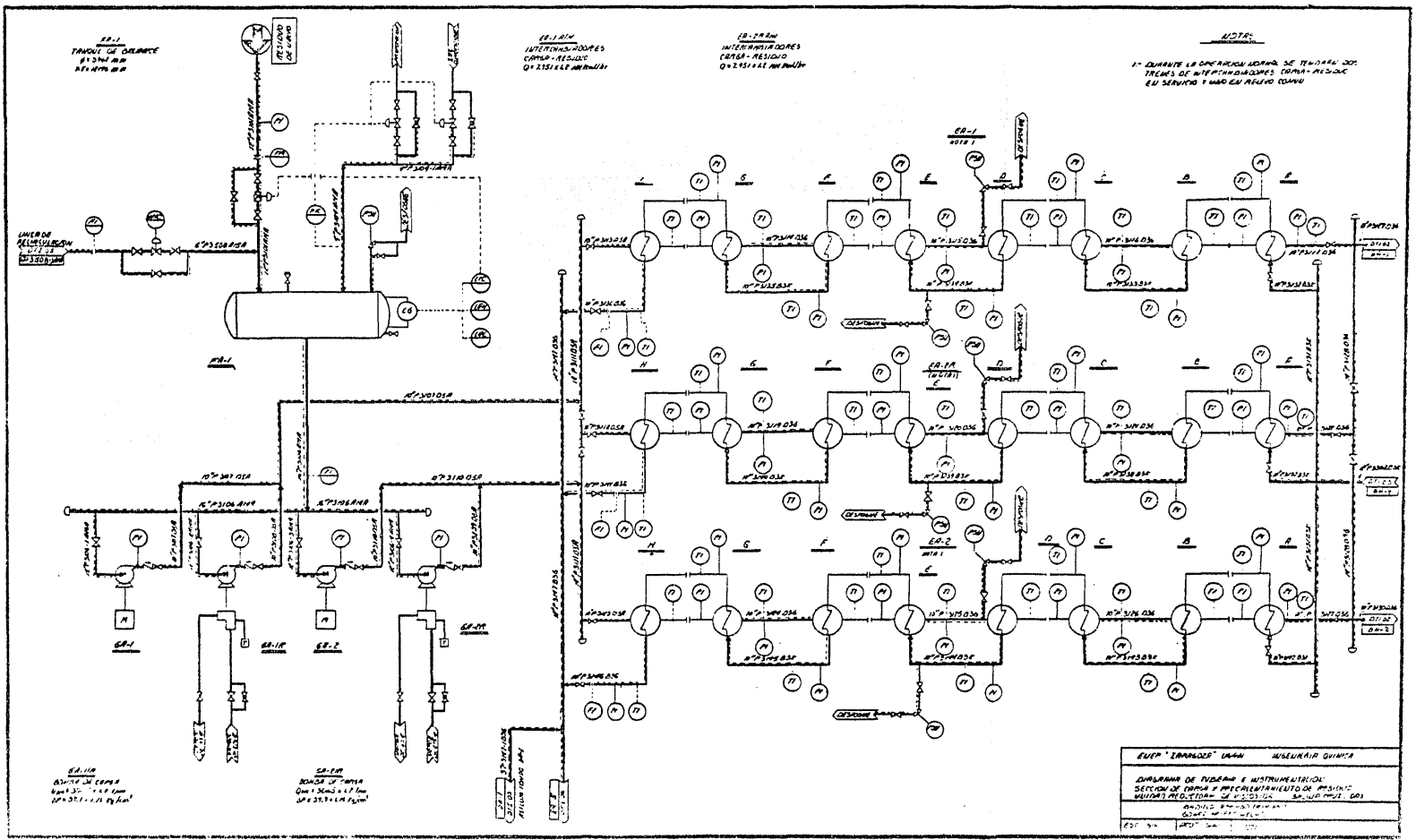
## 5.7 IDENTIFICACION DE LINEAS CON REQUERIMIENTOS DE TRAZADO.

La identificación de las tuberías se lleva a cabo con base en los Diagramas de Tubería e Instrumentación.

La identificación contempla aspectos como:

- Número de la tubería.
- Especificación.
- Ruta.
- Condiciones de Proceso.
- Aislamiento.
- Pérdidas de Calor.

La Tabla (5.7.1) muestra la identificación de las tuberías con requerimientos de trazado.



EB-1  
TUBAGEM DE COLETA  
Ø 150x4mm  
Ø 125x4mm

EB-1-104  
INTERMEDIADOR  
CABEÇA - RESÍDUO  
Ø 250x160mm

EB-1-104  
INTERMEDIADOR  
CABEÇA - RESÍDUO  
Ø 250x160mm

NOTA:

1ª - DURANTE LA OPERACION MANTER SE TEMPERATURA DOS TUBOS DE INTERMEDIADORES CABEÇA - RESÍDUO EM SERVIÇO 1 MODO EM RESÍDUO COM

EB-1-10  
BARRAGEM DE CABO  
Ø 100x100x125mm  
Ø 80x100x125mm

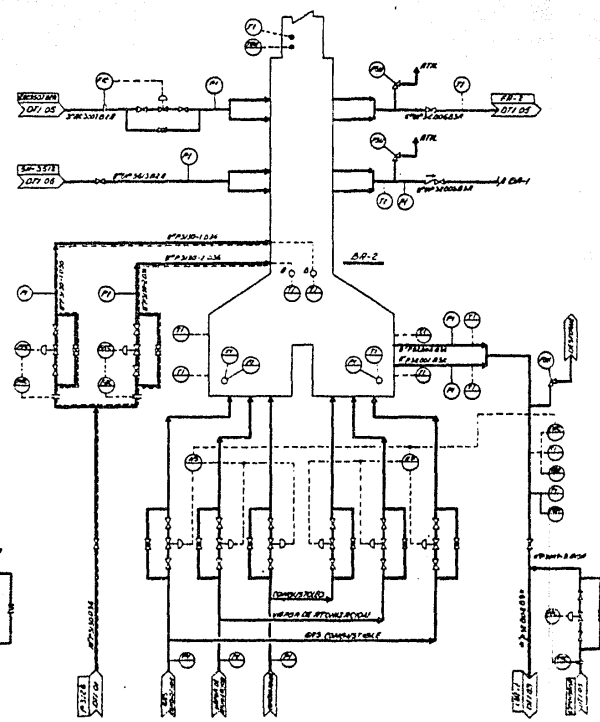
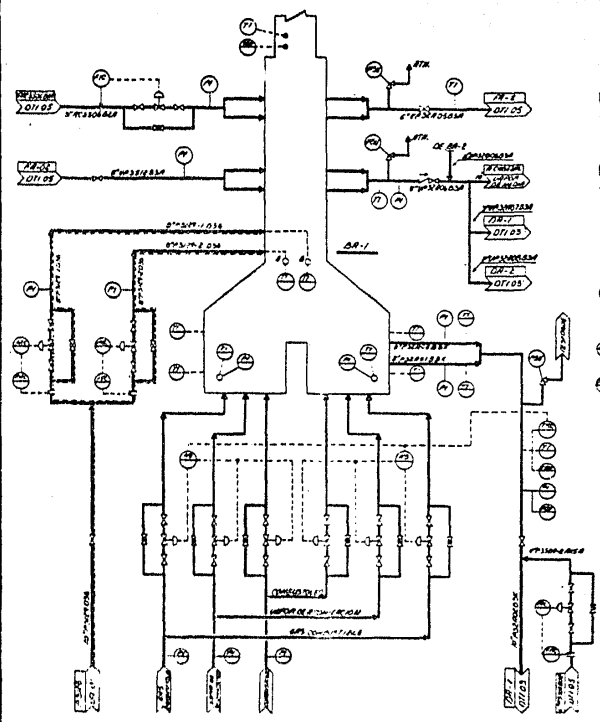
EB-1-10  
BARRAGEM DE CABO  
Ø 100x100x125mm  
Ø 80x100x125mm

EQUIPAMENTO EM USO		MENSURADOR QUÍMICO	
DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO			
SEÇÃO DE ENFERMAGEM E PREVENÇÃO DE INFECÇÕES			
SERVIÇO DE ENFERMAGEM DE INTENSIVIDADE			
UNIDADE DE TERAPIA INTENSIVA			
CÁMARA DE PRESSÃO			
CÁMARA DE PRESSÃO			
CÁMARA DE PRESSÃO			

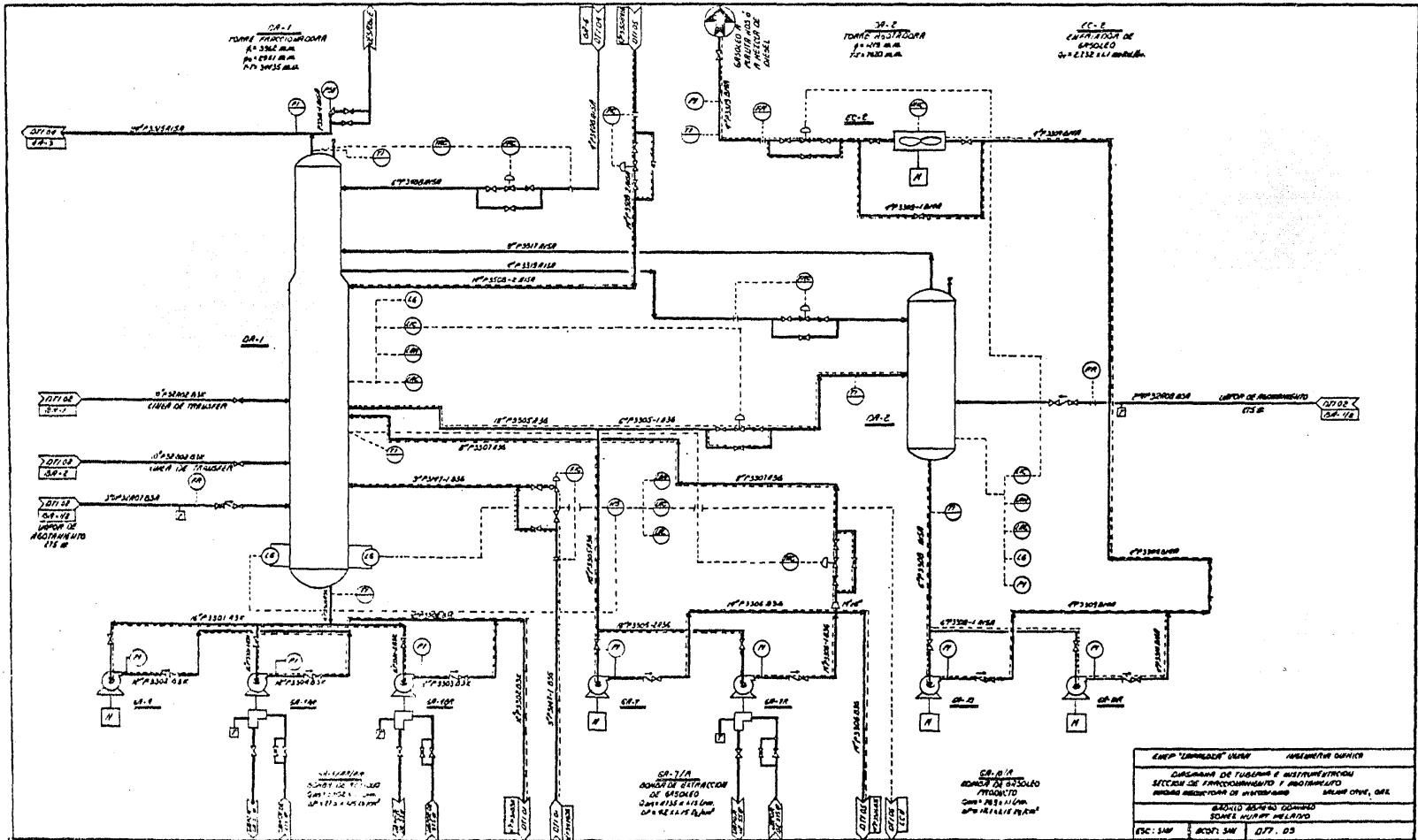
DR-1  
 MÓDULO DE PRODUCCIÓN  
 DE VISCOSIDAD  
 Q-7E.55 Y 12 MÓDULO

DR-2  
 MÓDULO DE PRODUCCIÓN  
 DE VISCOSIDAD  
 Q-7E.55 Y 12 MÓDULO

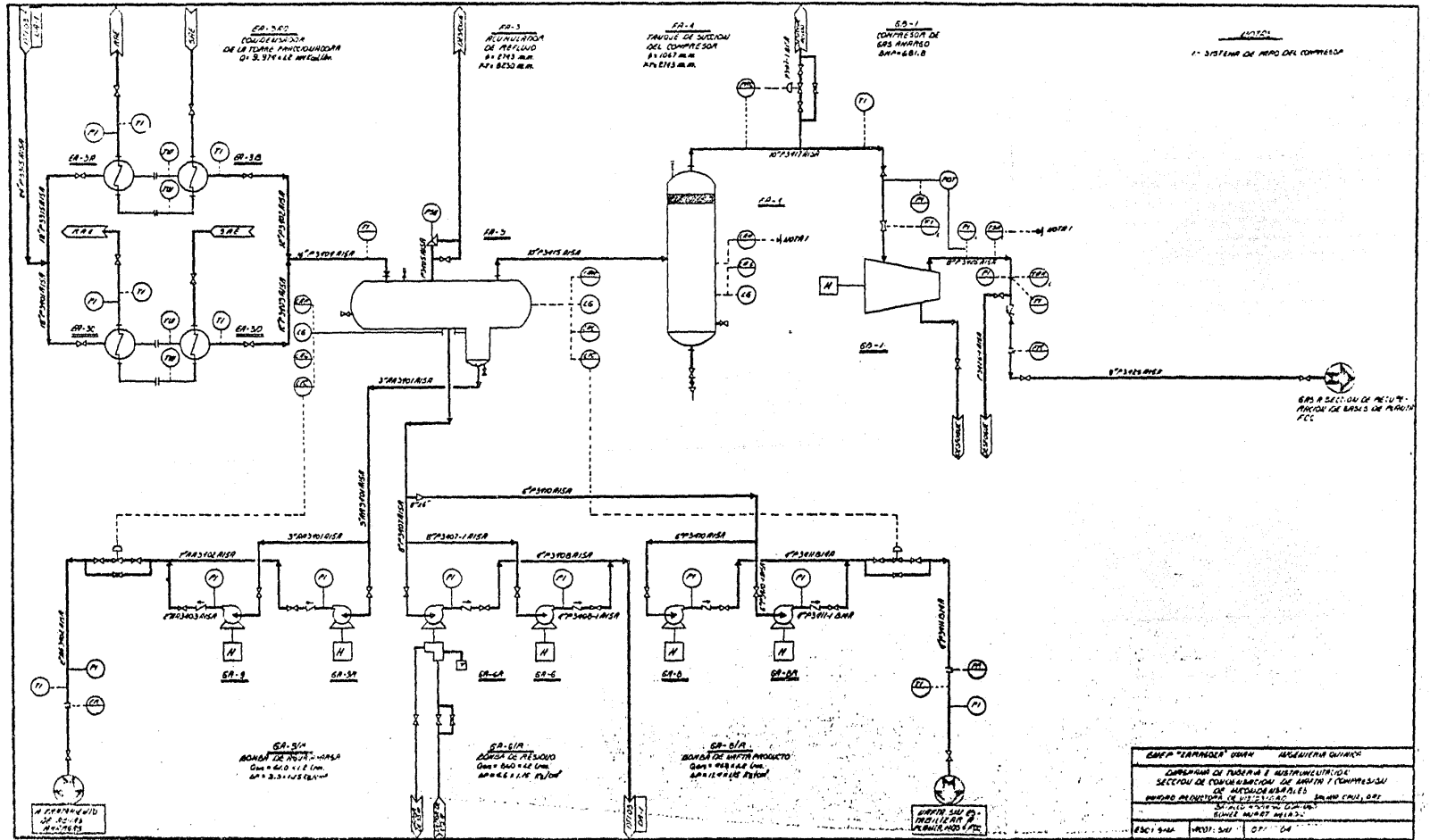
10708



EMP. "EMPRESA UNIV. INGENIERIA QUÍMICA"	
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA E INSTRUMENTACIÓN	
MÓDULO DE PRODUCCIÓN	
UNIDAD PRODUCTORA DE VISCOSIDAD	
SALA DE CONTROL	
DISEÑO TÉCNICO 000-000	
BOLETA NÚMERO 000-000	
ESC 3/6	MOY 3/6
	DT 00



EMPRESA "CAMARGO" S.A.		INSTALAÇÃO QUÍMICA	
DEPARTAMENTO DE TUBERAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO			
SEÇÃO DE PROJECCIONAMENTO E MONTAGEM			
UNIDADE INDUSTRIAL DE INTERMEDIÁRIO - UNIMONT, S.A.			
EXATOS DADOS CONFORME			
SOMENTE PARA FINS DE PROJECCIONAMENTO			
ESC. 3/40	ACTO. 3/40	DT. 07. 05	



CA-30  
BOCA DE ASPIRACION  
DE LA TURBINA PRODUCTORA  
DE 2.57442 MPa abs.

CA-3  
BOCA DE ASPIRACION  
DEL COMPRESOR  
DE 1783 MPa  
A 1783 MPa.

CA-4  
BOCA DE ASPIRACION  
DEL COMPRESOR  
DE 1783 MPa  
A 1783 MPa.

CA-1  
BOCA DE ASPIRACION  
DEL COMPRESOR  
DE 1783 MPa  
A 1783 MPa.

NOTAS:  
1º SISTEMA DE MOTO DEL COMPRESOR

CA-34  
BOCA DE ASPIRACION  
DE LA TURBINA PRODUCTORA  
DE 2.57442 MPa abs.

CA-35  
BOCA DE ASPIRACION  
DE LA TURBINA PRODUCTORA  
DE 2.57442 MPa abs.

CA-36  
BOCA DE ASPIRACION  
DE LA TURBINA PRODUCTORA  
DE 2.57442 MPa abs.

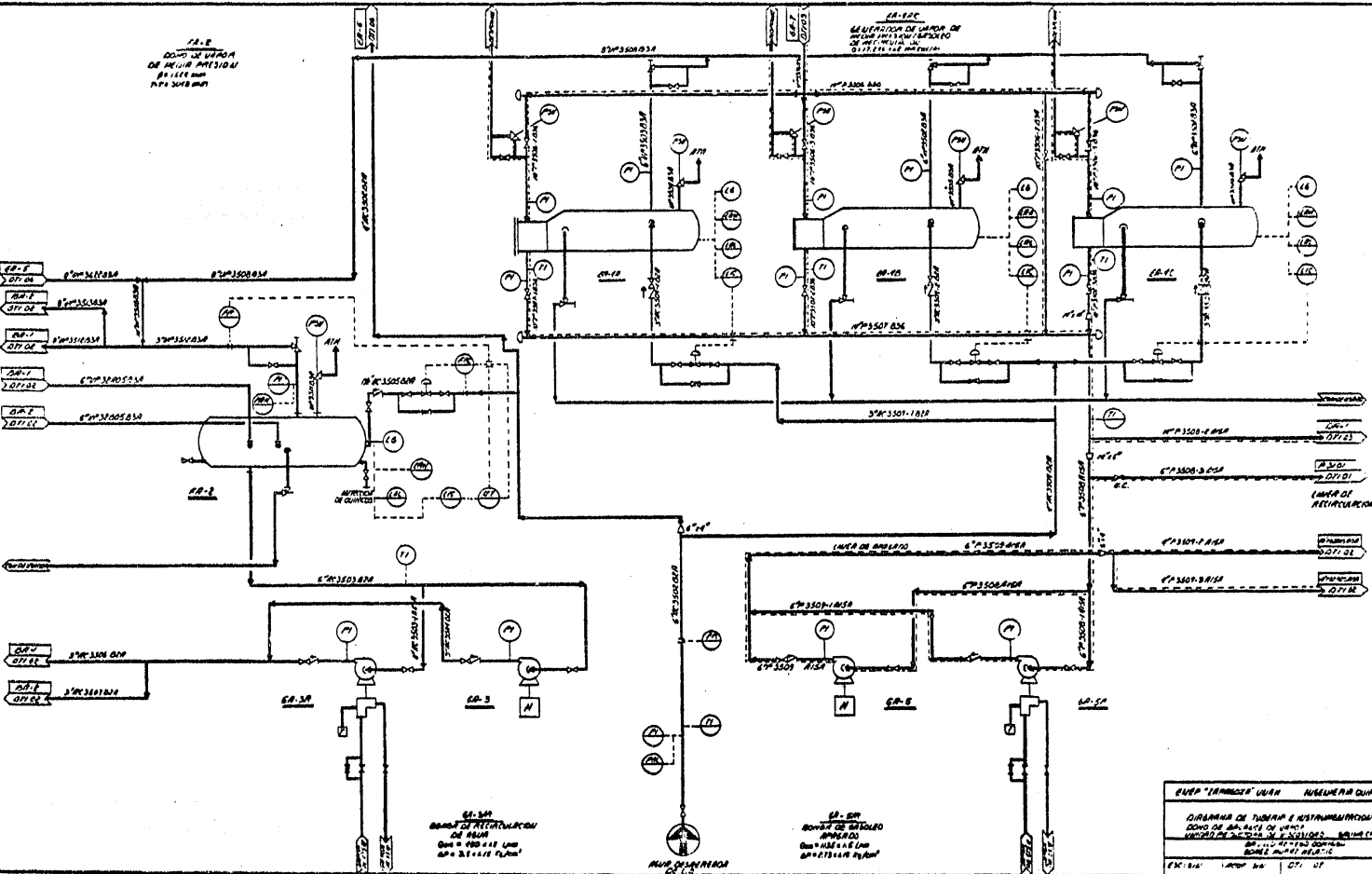
SECCION DE VENTILACION  
SECCION DE REFRIGERACION  
SECCION DE RECUPERACION DE CALOR  
SECCION DE COMBUSTION DE GAS

SEMP "EIRADES" S.A.		INGENIERIA QUIMICA
DISEÑO DE PROYECTO E INSTRUMENTACION		
SECCION DE COMBUSTION DE GAS Y COMPRESION		
DE REFRIGERACION		
UNIDAD INDUSTRIAL DE REFINADO DE PETROLO		
BOCA DE ASPIRACION DE LA TURBINA PRODUCTORA DE 2.57442 MPa abs.		
BOCA DE ASPIRACION DEL COMPRESOR DE 1783 MPa A 1783 MPa.		
ESCRIBO:	REVISOR:	DT: CA



SA-2  
DOMINIO DE LA PRESSION  
DE LA VAPOR  
Nº 1 304 500

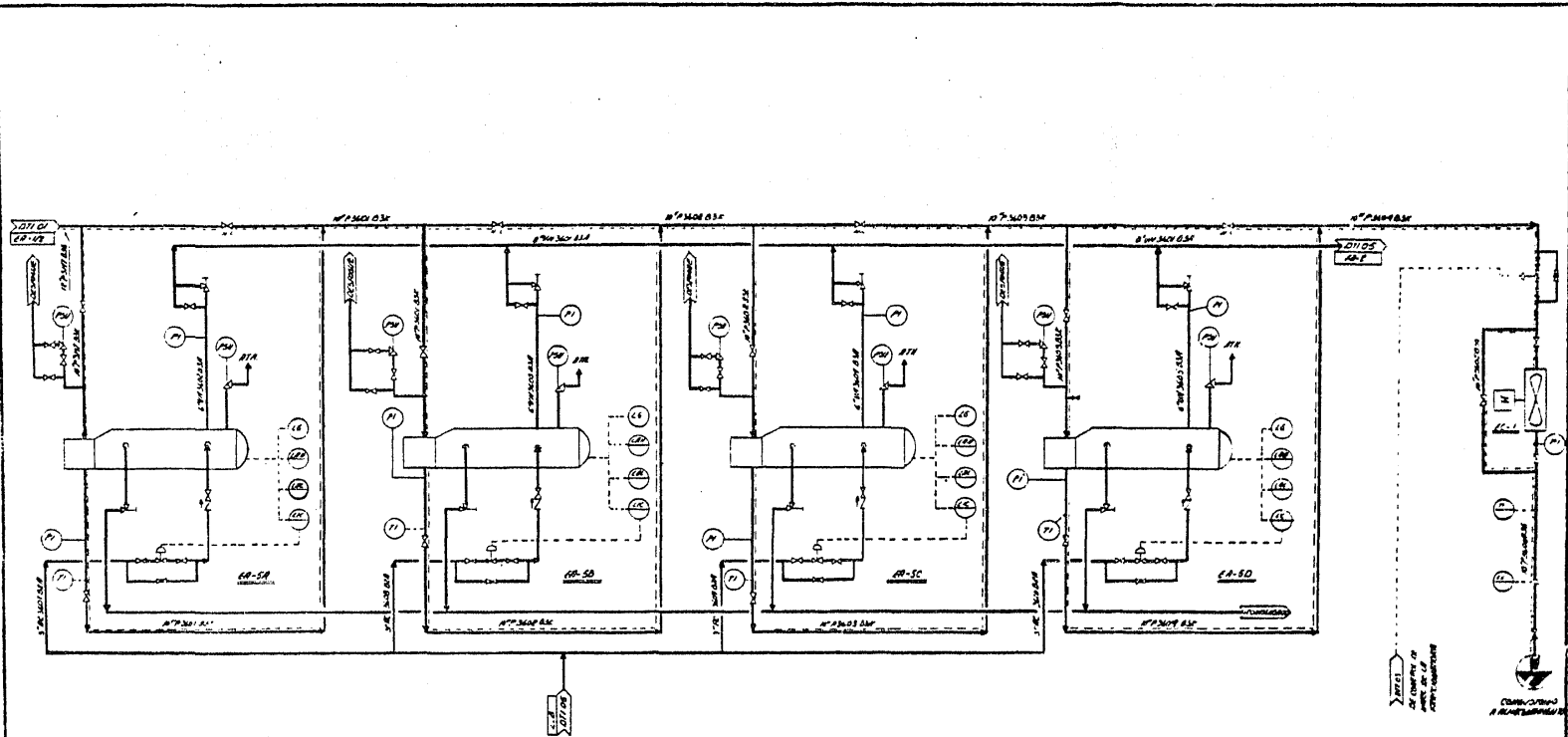
SA-12C  
REGULACION DE LA VAPOR DE  
LA PRESSION DE LA VAPOR  
DE LA VAPOR  
Nº 1 304 500



SA-3A  
DOMINIO DE REGULACION  
DE LA VAPOR  
Nº 1 304 500

SA-5A  
DOMINIO DE REGULACION  
DE LA VAPOR  
Nº 1 304 500

PLAN "SISTEMA" VAPOR REGULACION	
DOMINIO DE REGULACION DE LA VAPOR DE LA PRESSION DE LA VAPOR DE LA VAPOR	
DOMINIO DE REGULACION DE LA VAPOR DE LA PRESSION DE LA VAPOR DE LA VAPOR	
DOMINIO DE REGULACION DE LA VAPOR DE LA PRESSION DE LA VAPOR DE LA VAPOR	
DOMINIO DE REGULACION DE LA VAPOR DE LA PRESSION DE LA VAPOR DE LA VAPOR	
ENC. 101	ENC. 102



SE-1  
SEPARADOR DE VAPOR DE  
MEDIO PUNTO DE LÍNEA DE  
DE 12.5% (1) 100 PSI/100

SE-1  
SEPARADOR DE CONDENSADO  
DE 10.7% (1) 100 PSI/100

SECCION "FRANCOIS" 10000		INDUSTRIAL DIVISION
DISEÑADO POR: [Blank]		
REVISADO POR: [Blank]		
AUTORIZADO POR: [Blank]		
FECHA: 1/16/54		

Línea No.	C L A V E	R U T A		Condiciones de Proceso		Aislamiento		$\Delta T$ ( $T_t - T_a$ )	PERDIDAS DE CALOR		
		Desde	hasta	T(°F)	P(Psigr)	Tipo	Espesor		T. Vapor		T. Eléctrico
									Btu/hr-ft	watts/ft	Btu/hr-ft
01	12"P3101 A14A	L.B.	FA-1	530	64	M3	1 1/2"	103	87.25	26	88
02	4"P3104 A14A	FA-1	L.B.	530	43	M3	1 1/2"		45.16	11	38
03	4"P3104-1A14A	L.B.	4"P3104A14A	530	43	M3	1 1/2"		45.16	11	38
04	16"P3106 A14A	FA-1	GA-1/R, GA-2/R	530	43	M3	1 1/2"		110.1	40	109
05	12"P3106-1A14A	16"P3106A14A	GA-1	530	43	M3	1 1/2"		87.25	26	89
06	12"P3106-2A14A	16"P3106A14A	GA-1/R	530	43	M3	1 1/2"		87.25	26	89
07	12"P3106-3A14A	16"P3106A14A	GA-2	530	43	M3	1 1/2"		87.25	26	89
08	12"P3106-4A14A	16"P3106A14A	GA-2R	530	43	M3	1 1/2"		87.25	26	89
09	10"P3107 D5A	GA-1	14"P3111D5A	530	610	M3	1 1/2"		74	23	77
10	10"P3108 D5A	GA-1R	10"P3107D5A	530	610	M3	1 1/2"		74	23	77
11	10"P3109 D5A	GA-2R	10"P3110D5A	530	610	M3	1 1/2"		74	23	77
12	10"P3110 D5A	GA-2	14"P3111D5A	530	610	M3	1 1/2"		74	23	77
13	14"P3111 D5A	Tapón Cach.	Tapón Cach.	530	610	M3	1 1/2"		99	28	96
14	10"P3113 D5A	14"P3111D5A	EA-1H	530	610	M3	1 1/2"		74	23	77
15	10"P3114 D3G	EA-1G	EA-1F	562	603	M3	1 1/2"		74	23	77
16	10"P3115 D3G	EA-1E	EA-1D	595	595	M3	1 1/2"		74	23	77
17	10"P3116 D3G	EA-1C	EA-1B	627	587	M3	1 1/2"		74	23	77
18	10"P3117 D3G	EA-1A	14"P3128D3G	660	580	M3	1 1/2"		74	23	77
19	10"P3118 D5A	14"P3111 D5A	EA-2RH	530	610	M3	1 1/2"		74	23	77
20	10"P3119 D3G	EA-2RG	EA-2RF	562	603	M3	1 1/2"		74	23	77
21	10"P3120 D3G	EA-2RE	EA-2RD	595	595	M3	1 1/2"		74	23	77
22	10"P3121 D3G	EA-2RC	EA-2RB	627	587	M3	1 1/2"		74	23	77
23	10"P3122 D3G	EA-2RA	14"P3128D3G	660	580	M3	1 1/2"		74	23	77
24	10"P3123 D5A	14"P3111D5A	EA-2H	530	610	M3	1 1/2"		74	23	77
25	10"P3124 D3G	EA-2G	EA-2F	562	603	M3	1 1/2"		74	23	77
26	10"P3125 D3G	EA-2E	EA-2D	595	595	M3	1 1/2"		74	23	77
27	10"P3126 D3G	EA-2C	EA-2B	627	587	M3	1 1/2"		74	23	77
28	10"P3127 D3G	EA-2A	14"P3128D3G	660	580	M3	1 1/2"		74	23	77
29	14"P3128 D3G	Tapón Cach.	Tapón Cach.	660	580	M3	1 1/2"		99	23	77
30	14"P3129 D3G	14"P3128D3G	BA-1	660	580	M3	1 1/2"		99	23	77
31	14"P3130 D3G	14"P3128D3G	BA-2	660	580	M3	1 1/2"		99	23	77
32	12"P3131 B3K	Tapón Cach.	Tapón Cach.	740	347	M3	1 1/2"		69	21	72
33	10"P3132 B3K	12"P3131B3K	EA-1A	740	343	M3	1 1/2"		74	23	77
34	10"P3133 B3K	EA-1B	EA-1C	705	330	M3	1 1/2"		74	23	77
35	10"P3134 B3K	EA-1D	EA-1E	670	316	M3	1 1/2"		74	23	77

TABLA (5.7.1) TUBERÍAS CON REQUERIMIENTOS DE TRAZADO

36	10"P3135	B3K	EA-1F	EA-1G	635	308	M3	1 1/2"	103	74	23	77
37	10"P3136	B3G	EA-1H	12"P3147B3G	600	290	M3	1 1/2"		74	23	77
38	10"P3137	B3K	12"P3131B3K	EA-2RA	740	343	M3	1 1/2"		74	23	77
39	10"P3138	B3K	EA-2RB	EA-2RC	705	330	M3	1 1/2"		74	23	77
40	10"P3139	B3K	EA-2RD	EA-2RE	670	316	M3	1 1/2"		74	23	77
41	10"P3140	B3K	EA-2RF	EA-2RG	635	303	M3	1 1/2"		74	23	77
42	10"P3141	B3G	EA-2RH	12"P3147B3G	600	290	M3	1 1/2"		74	23	77
43	10"P3142	B3K	12"P3131B3K	EA-2A	740	343	M3	1 1/2"		74	23	77
44	10"P3143	B3K	EA-2B	EA-2C	705	330	M3	1 1/2"		74	23	77
45	10"P3144	B3K	EA-2D	EA-2E	670	316	M3	2"		74	23	77
46	10"P3145	B3K	EA-2F	EA-2G	635	303	M3	1 1/2"		74	23	77
47	10"P3146	B3G	EA-2H	12"P3147B3G	600	290	M3	1 1/2"		74	23	77
48	12"P3147	B3G	Tapón Cach.	EA-5A	600	290	M3	1 1/2"		87.25	21	72
49	3"P3147-1B3G		12"P3147B3G	DA-1	600	290	M3	1"		37.14	10	32
50	8"P3129-1D3G		10"P3129D3G	BA-1	660	450	M3	1 1/2"		63.5	19	65
51	8"P3129-2D3G		10"P3129D3G	BA-1	660	450	M3	1 1/2"		63.5	19	65
52	8"P3130-1D3G		10"P3130D3G	BA-2	660	450	M3	1 1/2"		63.5	19	65
53	8"P3130-2D3G		10"P3130D3G	BA-2	600	450	M3	1 1/2"		63.5	19	65
54	16"P3301	A3K	DA-1	GA-4	740	25	M3	2"		86.5	26	88
55	16"P3301-1A3K		16"P3301A3K	GA-4AR	740	25	M3	2"		86.5	26	88
56	16"P3301-2A3K		16"P3301A3K	GA-4BR	740	25	M3	2"		86.5	26	88
57	12"P3302	B3K	GA-4	12"P3131B3K	740	347	M3	2"		69	21	72
58	12"P3303	B3K	GA-4BR	12"P3302B3K	740	347	M3	2"		69	21	72
59	12"P3304	B3K	GA-4AR	12"P3302B3K	740	347	M3	2"		69	21	72
60	18"P3305	A3G	DA-1	GA-7	560	24	M3	1 1/2"		122	35	121
61	6"P3305-1A3G		18"P3305A3G	DA-2	560	24	M3	1 1/2"		55	15	52
62	18"P3305-2A3G		18"P3305A3G	GA-7R	560	24	M3	1 1/2"		122	35	121
63	14"P3306	B3G	GA-7	14"P3506B3G	560	101	M3	1 1/2"		99	28	97
64	14"P3306-1B3G		GA-7R	14"P3306B3G	560	101	M3	1 1/2"		99	28	97
65	8"P3307	A3G	14"P3306B3G	DA-1	560	24	M3	1 1/2"		63.5	19	65
66	6"P3308	A15A	DA-2	GA-10	494	24	M3	1 1/2"		55	15	52
67	6"P3308-1A15A		6"P3308A15A	GA-10R	494	24	M3	1 1/2"		55	15	52
68	4"P3309	B14A	GA-10	EC-2	494	247	M3	1"		55	11	38
69	4"P3309-1B14A		4"P3309B14A	4"P3313B14A	494	247	M3	1"		55	11	38
70	4"P3310	B14A	GA-10R	4"P3309B14A	494	247	M3	1"		55	11	38
71	4"P3313	B14A	EC-2	L.B.	494	247	M3	1"		55	11	38
72	14"P3506	B3G	Tapón Cach.	Tapón Cach.	560	101	M3	1 1/2"		99	28	97
73	10"P3506-1B3G		14"P3506B3G	EA-4A	560	101	M3	1 1/2"		74	23	77

TABLA (5.7.1) CONT.....

74	10"P3506-3B3G	14"P3506B3G	EA-4B	560	101	M3	1 1/2"	103	74	23	77
75	10"P3506-5B3G	14"P3506B3G	EA-4C	560	101	M3	1 1/2"		74	23	77
76	10"P3506-7B3G	14"P3506B3G	14"P3507B3G	560	101	M3	1 1/2"		74	23	77
77	14"P3507 B3G	Tapón Cach.	Tapón Cach.	450	80	M3	1 1/2"		99	28	97
78	10"P3507-1B3G	EA-4A	14"P3507B3G	450	80	M3	1 1/2"		74	23	77
79	10"P3507-2B3G	EA-4B	14"P3507B3G	450	80	M3	1 1/2"		74	23	77
80	10"P3507-3B3G	EA-4C	14"P3507B3G	450	80	M3	1 1/2"		74	23	77
81	6"P3508A15A	14"P3507B3G	GA-5	450	80	M3	1 1/2"		55	15	52
82	6"P3508-1A15A	6"P3508A15A	GA-5R	450	80	M3	1 1/2"		55	15	52
83	14/6"P3508-2A15A	14"P3508A15A	DA-1	450	23	M3	1 1/2"		99	28	97
84	6"P3508-3A15A	6"P3508A15A	12"P3101A14A	450	80	M3	1 1/2"		55	15	52
85	6"P3509A15A	GA-5	4"P3509-2A15A	450	122	M3	1 1/2"		55	15	52
86	6"P3509-1A15A	GA-5R	6"P3509A15A	450	122	M3	1 1/2"		55	15	52
87	4"P3509-2A15A	6"P3509A15A	10"P32A02B3K	450	122	M3	1 1/2"		45.16	11	38
88	4"P3509-3A15A	4"P3509-2A15A	10"P32B02B3K	450	122	M3	1 1/2"		45.16	11	38
89	10"P3601 B3K	EA-5A	EA-5B	565	283	M3	1 1/2"		74	23	77
90	10"P3602 B3K	EA-5B	EA-5C	530	275	M3	1 1/2"		74	23	77
91	10"P3603 B3K	EA-5C	EA-5D	494	268	M3	1 1/2"		74	23	77
92	10"P3604 B3K	EA-5D	EG1	460	260	M3	1 1/2"		74	23	77
93	10"P3605 B3K	10"P3604B3K	10"P3606B3G	460	260	M3	1 1/2"		74	23	77
94	10"P3606 B3K	EC-1	L.B.	194	200	M3	1 1/2"		74	23	77

NOTAS:

1) Aislamiento Tipo:

M1: Fibra de Asbesto Moldeado

M2: Lana Mineral

M3: Silicato de Calcio

M4: Silica diatomeaceas + Asbesto

M5: Fibra de vidrio

Tt = Temperatura a mantener (180°F)

Ta = Temperatura ambiente ( 77°F)

$\Delta T = (Tt-Ta)$

$\Delta T = 180-77$

$\Delta T = 103^\circ F$

TABLA (5.7.1) TUBERIAS CON REQUERIMIENTOS DE TRAZADO

## 5.8 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRAZADO

El diseño de los sistemas de trazado de vapor y eléctrico, se lleva a cabo desde su inicio, contando con información de proceso tal como; Diagrama de Flujo de Proceso y Balance de Materia y Energía, así como Plano de Localización General de Equipo y Diagramas de Tubería e Instrumentación.

El diseño se inicia con la identificación de líneas con requerimientos de trazado.

Se calculan las pérdidas de calor para cada uno de los sistemas considerando que se encuentran totalmente instalados con; cements, aislamiento y cubiertas protectoras, ya que estas son las condiciones que se tienen en el momento que el trazado va a cumplir su función. Si no se hace esta consideración, el sistema resultaría sobredimensionado, ya que las -- pérdidas que se tienen con la tubería desnuda son muy grandes.

Posteriormente se procede al diseño de los sistemas de trazado desde el punto de vista de requerimientos de insumos (vapor y energía eléctrica), número de trazados, número de circuitos, cements que transfieren calor, cubiertas protectoras, etc.

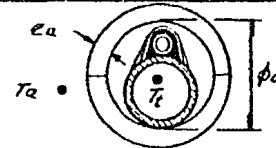
El cálculo fue llevado a cabo con base en las siguientes hojas de cálculo, en las cuales se muestra un ejemplo para el diseño de los sistemas -- sobre una tubería en particular, ya que las demás se efectúan en forma -- similar.

EJEMPLO DE CALCULO  
DE LA LINEA 12  
10" P 3110 DSA

## HOJA DE CALCULO

### PERDIDAS DE CALOR EN TRAZADO DE VAPOR

DATOS			
LINEA No. 12	AISLAMIENTO: TIPO I	$T_c = 180$ °F	PERDIDAS DE CALOR
	TIPO: M3	$T_a = 77$ °F	12 Btu/hr-ft    Btu/hr
$\phi = 10$ "	$e_a = 1.5$ in	$\Delta T = T_c - T_a$	74            15318
	$\phi_o = 12$ in	$\Delta T = 180 - 77$	
ESPECIFICACION DE LA TUBERIA: DSA	MATERIAL BASE: SILICATO DE CALCIO	$\Delta T = 103$ °F	
ACERO AL CARBON			



METODO DE CALCULO			
DETERMINACION DE LA LONGITUD DEL CIRCUITO			
① CON $\phi$ , $\phi_o$ Y $e_a$ OBTENER $C_o$ DE LA TABLA 1			
$C_o = 0.788$			
② CON $\Delta T$ OBTENER $H_i$ DE LA TABLA 2			
$H_i = 0.906$			
③ CALCULAR LAS PERDIDAS DE CALOR (q)			
$q = C_o * H_i * \Delta T$			
$q = 0.788 * 0.906 * 103$			
$q = 74$ Btu/hr-ft			
CALCULO DE LA LONGITUD DEL CIRCUITO			
④ LONGITUD DE LA TUBERIA (L)	12		
⑤ LONGITUD EQ. DE VALVULAS (L)	45		
⑥ LONGITUD EQ. DE ACCESORIOS (L)	17		
⑦ CALCULO DE LA LONGITUD TOTAL DEL CIRCUITO (L <sub>T</sub> )			
$L_T = ④ + ⑤ + ⑥$			
$L_T = 12 + 45 + 17$			
$L_T = 207$ ft			
CALCULO DE LA PERDIDA TOTAL DE CALOR			
$Q = q * L_T$			
$Q = 74 \text{ Btu/hr-ft} * 207 \text{ ft}$			
$Q = 15318$ Btu/hr			

TABLA 1

DIMENSION NOMINAL DEL AISLAMIENTO	C <sub>o</sub>	ESPESES NOMINAL DEL AISLAMIENTO		
		1"	1 1/2"	2"
2 1/2"	1 1/2"	0.290	0.221	0.192
3"	2"	0.329	0.263	0.242
3 1/2"	2 1/2"	0.325	0.384	0.243
4"	3"	0.398	0.341	0.284
6"	4"	0.585	0.484	0.383
8"	6"	0.785	0.588	0.477
10"	8"	0.806	0.679	0.552
12"	10"	0.916	0.788	0.660
14"	12"	1.131	0.935	0.739
16"	14"	1.286	1.060	0.834
18"	16"	1.434	1.180	0.926
20"	18"	1.596	1.307	1.018
22"	20"	1.729	1.420	1.111
26"	24"	1.972	1.615	1.258
32"	30"	2.403	1.965	1.527

TABLA 2

$\Delta T$ °F	$H_i$
40	0.89
50	0.90
100	0.90
150	1.00
200	1.04
250	1.08
300	1.14
400	1.22
500	1.32
600	1.39
700	1.48

NOTA: PARA VALORES INTERMEDIOS INTERPOLAR.

**LEYENDA**

- q: PERDIDAS DE CALOR (Btu/hr-ft)
- phi = DIAMETRO NOMINAL DE LA TUBERIA (in)
- T<sub>c</sub>: TEMPERATURA A MANTENER (°F)
- T<sub>a</sub>: TEMPERATURA AMBIENTE (°F)
- e<sub>a</sub>: ESPESOR DEL AISLAMIENTO (in)
- phi<sub>o</sub>: DIAMETRO NOMINAL DEL AISLAMIENTO (in)
- C<sub>o</sub>: COEFICIENTE DE CALOR A TRAVES DEL AISLAMIENTO (Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F)
- H<sub>i</sub>: PERDIDA DE CALOR (Btu/hr-ft<sup>2</sup>)
- ΔT: DIFERENCIA DE TEMPERATURAS (°F)
- L<sub>T</sub>: LONGITUD TOTAL DEL CIRCUITO (ft)
- Q: PERDIDA TOTAL DE CALOR (Btu/hr)

# HOJA DE CALCULO

EJEMPLO DE CALCULO  
DE LA LINEA 12  
10° P 3110 DSA

PERDIDAS DE CALOR EN TRAZADO ELECTRICO

DATOS DE CALCULO		METODO DE CALCULO		RESULTADOS FINALES																																																	
LINEA No. 12 10° P 3110 DSA $\phi_i = 10.00$ in $\phi_1 = 10.02$ in $\phi_0 = 10.75$ in MATERIAL: AC. AL CARBON kt: ---	AISLANTE: SÍLICA DE CALCIO TIPO: M3 ka: 1.5 in $\phi_2 = \phi_0 + 2ka = 10.75 + 2(1.5)$ $\phi_3 = 13.75$ in ka = ---	$T_c = 180$ °F $T_a = 77$ °F $\Delta T = T_c - T_a = 180 - 77$ $\Delta T = 103$ °F ha = ---																																																			
① SUPONER $T_1$ Y $T_2$ $T_1^s = 180$ °F $T_2^s = 93$ °F $T_M = 136.5$ °F		$(Q/L)_a = \frac{103}{\frac{\ln(10.75/10.02)}{2\pi(25.97)} + \frac{\ln(13.75/10.75)}{2\pi(0.0398)} + \frac{1}{\pi(\frac{13.75}{12})k_a}}$ $(Q/L)_a = 77.19$ Btu/hr-ft		$(Q/L)_a = 77$ Btu/hr-ft $(Q/L)_a = 23$ WATTS/ft																																																	
② OBTENER kt Y ka $kt = 26.33 - 0.002T = 26.33 - 0.002(180)$ $kt = 25.97$ Btu/hr-ft <sup>2</sup> °F $ka = 0.031 + 0.000028T_M = 0.031 + 0.000028(136.5)$ $ka = 0.0398$ Btu/hr-ft <sup>2</sup> °F		③ CALCULAR $T_1^c$ Y $T_2^c$ $T_1^c = T_c - (Q/L)_a \frac{\ln(\phi_0/\phi_i)}{2\pi kt}$ $T_1^c = 180 - (77.19) \frac{\ln(10.75/10.02)}{2\pi(25.97)}$ $T_1^c = 179.9$ °F $T_2^c = T_a + (Q/L)_a \frac{1}{\pi \phi_3 ka}$ $T_2^c = 77 + (77.19) \frac{1}{\pi(13.75/12)(1.3337)}$ $T_2^c = 93.07$ °F		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">LINEA No.</td> <td style="width: 10%;">12</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>CONDUCTIVIDAD DE LA TUBERIA</td> <td>145</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LA TUBERIA</td> <td>42</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LOS AISLANTES</td> <td>17</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CONDUCTIVIDAD TOTAL DEL SISTEMA</td> <td>304</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">PERDIDAS TOTALES DE CALOR <math>Q = (Q/L)_a * L_T</math></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">LINEA No.</td> <td style="width: 10%;">12</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Q (Btu/hr)</td> <td>15102</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q (WATTS)</td> <td>4652</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		LINEA No.	12					CONDUCTIVIDAD DE LA TUBERIA	145					CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LA TUBERIA	42					CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LOS AISLANTES	17					CONDUCTIVIDAD TOTAL DEL SISTEMA	304					LINEA No.	12					Q (Btu/hr)	15102					Q (WATTS)	4652				
LINEA No.	12																																																				
CONDUCTIVIDAD DE LA TUBERIA	145																																																				
CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LA TUBERIA	42																																																				
CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LOS AISLANTES	17																																																				
CONDUCTIVIDAD TOTAL DEL SISTEMA	304																																																				
LINEA No.	12																																																				
Q (Btu/hr)	15102																																																				
Q (WATTS)	4652																																																				
④ DETERMINAR $(Q/L)_a$ $(Q/L)_a = \frac{T_c - T_a}{\frac{\ln(\phi_0/\phi_i)}{2\pi kt} + \frac{\ln(\phi_2/\phi_0)}{2\pi ka} + \frac{1}{\pi \phi_3 ha}}$		⑤ VERIFICAR: SI $T_1^c = T_1^s$ Y $T_2^c = T_2^s$ ENTONCES $(Q/L)_a$ SON LAS PERDIDAS DE CALOR DEL SISTEMA. SI $T_1^c \neq T_1^s$ Y/O $T_2^c \neq T_2^s$ REGRESAR AL PASO ① HACIENDO: $T_1^s = T_1^c$ Y $T_2^s = T_2^c$		<p style="text-align: center;">LEYENDA</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <math>(Q/L)_a</math>: PERDIDA DE CALOR POR PIE LINEAL DE TUBERIA  <math>\phi_i</math>: DIAMETRO NOMINAL TUBERIA  <math>\phi_0</math>: DIAMETRO INTERNO TUBERIA  <math>\phi_2</math>: DIAMETRO EXTERNO TUBERIA  <math>\phi_3</math>: DIAMETRO EXTERNO AISLANTE  <math>ka</math>: ESPESOR DEL AISLANTE  <math>kt</math>: CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL TUBO  <math>k_a</math>: CONDUCTIVIDAD TERMICA AISLANTE                 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <math>ha</math>: COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR AL AIRE  <math>T_c</math>: TEMPERATURA A MANEJERA  <math>T_a</math>: TEMPERATURA AMBIENTE  <math>T_1</math>: TEMP. PARED EXTERIOR TUBO  <math>T_2</math>: TEMP. SUP. EXTERNA AISLANTE  <math>T_1^s, T_2^s</math>: TEMPERATURAS SUPUESTAS  <math>T_1^c, T_2^c</math>: TEMPERATURAS CALCULADAS  <math>T_M</math>: TEMPERATURA MEDIA                 </td> </tr> </table>		$(Q/L)_a$ : PERDIDA DE CALOR POR PIE LINEAL DE TUBERIA $\phi_i$ : DIAMETRO NOMINAL TUBERIA $\phi_0$ : DIAMETRO INTERNO TUBERIA $\phi_2$ : DIAMETRO EXTERNO TUBERIA $\phi_3$ : DIAMETRO EXTERNO AISLANTE $ka$ : ESPESOR DEL AISLANTE $kt$ : CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL TUBO $k_a$ : CONDUCTIVIDAD TERMICA AISLANTE	$ha$ : COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR AL AIRE $T_c$ : TEMPERATURA A MANEJERA $T_a$ : TEMPERATURA AMBIENTE $T_1$ : TEMP. PARED EXTERIOR TUBO $T_2$ : TEMP. SUP. EXTERNA AISLANTE $T_1^s, T_2^s$ : TEMPERATURAS SUPUESTAS $T_1^c, T_2^c$ : TEMPERATURAS CALCULADAS $T_M$ : TEMPERATURA MEDIA																																														
$(Q/L)_a$ : PERDIDA DE CALOR POR PIE LINEAL DE TUBERIA $\phi_i$ : DIAMETRO NOMINAL TUBERIA $\phi_0$ : DIAMETRO INTERNO TUBERIA $\phi_2$ : DIAMETRO EXTERNO TUBERIA $\phi_3$ : DIAMETRO EXTERNO AISLANTE $ka$ : ESPESOR DEL AISLANTE $kt$ : CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL TUBO $k_a$ : CONDUCTIVIDAD TERMICA AISLANTE	$ha$ : COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR AL AIRE $T_c$ : TEMPERATURA A MANEJERA $T_a$ : TEMPERATURA AMBIENTE $T_1$ : TEMP. PARED EXTERIOR TUBO $T_2$ : TEMP. SUP. EXTERNA AISLANTE $T_1^s, T_2^s$ : TEMPERATURAS SUPUESTAS $T_1^c, T_2^c$ : TEMPERATURAS CALCULADAS $T_M$ : TEMPERATURA MEDIA																																																				



EJEMPLO DE DISEÑO  
DE LA LÍNEA 12  
10" P 340 DSA

## HOJA DE CALCULO DISEÑO DEL TRAZADO DE VAPOR

DATOS DE DISEÑO	
LÍNEA No.	12
Ø (in)	10
T <sub>e</sub> (°F)	180
Q (Btu/hr-ft)	74
L <sub>T</sub> (ft)	207
Q <sub>T</sub> (Btu/hr)	15318
WAPOR DISPONIBLE P (lb/m <sup>2</sup> )	150
TEMPERATURA T (°F)	365.9

### PROCEDIMIENTO DE CALCULO

- ① CON Ø Y TABLA 1 CALCULAR EL NUMERO DE TRAZADOS REQUERIDOS

$$\text{NUMERO DE TRAZADOS} = 2$$

- ② CALCULAR EL NUMERO DE CIRCUITOS REQUERIDOS N<sub>C</sub>

$$N_C = \frac{L_T}{L_N} \quad \text{OBTENER } L_N \text{ DE LA TABLA 2} \\ \text{CON LA PRESION DEL VAPOR}$$

$$N_C = \frac{207}{170} = 1.21 \Rightarrow N_C = 2$$

- ③ CALCULAR EL CONSUMO DE VAPOR

$$W = \frac{Q_T}{K} \quad W = \frac{15318 \text{ Btu/hr}}{857.1 \text{ Btu/lb}} \quad W = \frac{17.87 \text{ lb/hr}}$$

- ④ PARA TRAMPAS DE VAPOR VER APARTADO 2.2 DE (3.8.4)

- ⑤ PARA CEMENTOS QUE TRANSFIEREN CALOR VER (3.6)

- ⑥ PARA DIANEADO Y ESPECIFICACION DEL TRAZADO VER APARTADO 2.2 DE (3.8.4)

- ⑦ PARA CUBIERTAS PROTECTORAS VER (3.7.5)

TABLA DE RESULTADOS	
LÍNEA No.	12
Nº DE TRAZADOS	2
Nº DE CIRCUITOS	2
L (INCH)	857.1
W (lb/hr)	17.87
CUBIERTAS PROTECTORAS	ARUN-UNO
CEMENTO	TIPO 2C 1/2"
MATERIAL	PT 1/8" ESP.

TABLA 1

DIAMETRO DE LA LÍNEA	Nº DE TRAZADOS REQUERIDOS
4" Y MENORES	1
6" A 16"	2
18" Y MAYORES	3

TABLA 2

PERDIDA DEL VAPOR (lb/m <sup>2</sup> )	LONGITUD DEL TRAZADO (ft)
50	125
100	150
150	170
200	200
250	220
300 Y MAYOR	250

### LEYENDA

Ø : DIAMETRO DE LA LÍNEA DE PROCESO (in)	L <sub>N</sub> : LONGITUD MÁXIMA DE UN CIRCUITO (ft)
T <sub>e</sub> : TEMPERATURA A MANTENER (°F)	L : CALDA LATENTE DE VAPORIZACION (Btu/lb)
Q : PERDIDAS DE CALOR (Btu/hr-ft)	K : ESPESOR DEL CEMENTO QUE TRANSFIERE CALOR (in)
L <sub>T</sub> : LONGITUD TOTAL DEL TRAZADO (ft)	Ø <sub>T</sub> : DIAMETRO DEL TRAZADO (in)
Q <sub>T</sub> : PERDIDA TOTAL DE CALOR (Btu/hr)	W : CONSUMO DE VAPOR (lb/hr)
N <sub>C</sub> : NUMERO DE CIRCUITOS DE TRAZADO	

EJEMPLO DE DISEÑO  
DE LA LÍNEA 12  
10" P 3110 DSA

HOJA DE CÁLCULO  
DISEÑO DEL TRAZADO ELÉCTRICO

DATOS DE DISEÑO	SELECCIÓN DEL CABLE
<p>LÍNEA No. <u>12</u> ESPECIFICACIÓN <u>10" P 3110 DSA</u></p> <p>TEMPERATURA A MANTENER <u>180</u> °F</p> <p>LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL <u>201</u> FT</p> <p>PERDIDAS DE CALOR <u>23</u> WATTS/FT</p> <p>VOLTAJE <u>220</u> VOLTS</p>	<p>PARA LA SELECCIÓN DEL CABLE SE USAN LAS GRÁFICAS (9.5.3) Y (9.5.4) DE ACUERDO A LA TEMPERATURA A MANTENER (TEMPERATURA DE TRAZADO).</p> <p>ESPECIFICACIÓN DEL CABLE <u>EC10</u></p> <p>POTENCIA TOTAL (P) = PERD. CALOR * LONG. EQUIV. <u>5304</u> WATTS</p> <p>CORRIENTE TOTAL (I) = POTENCIA / VOLTAJE <u>24.11</u> AMPERES</p>
<p>CEMENTO QUE TRANSFIERE CALOR (VER 3.6)</p> <p>TIPO <u>INSOLUBLE EN AGUA</u></p> <p>ESPESOR <u>1/4"</u></p> <p>CUBIERTA PROTECTORA (VER 3.7.5)</p> <p>MATERIAL <u>ALUMINIO</u></p>	<p>FRECUENCIA <u>60</u> HZ.</p> <p>NÚMERO DE FASES <u>3</u></p> <p>NÚMERO DE TRAZADOS <u>1</u></p> <p>NÚMERO DE CIRCUITOS <u>1</u></p>

Los resultados generales del diseño se muestran en (5.9).

Cabe mencionar que estas hojas de cálculo están elaboradas con información obtenida de los Capítulos III y IV.

## 5.9 RESULTADOS.

Aquí se muestran los resultados obtenidos del diseño de los sistemas de trazado de vapor y trazado eléctrico en las Tablas (5.9.1) (5.9.2) y -- (5.9.3), en las cuales se muestran los estimados de las longitudes equivalentes para cada uno de los sistemas, así como los resultados del diseño.

### 5.9.1 Comparación de Resultados y Selección del Sistema más Adecuado.

Para esto es necesario hacer una comparación de los diversos aspectos técnicos involucrados con la aplicación de cada sistema - en particular.

En la Tabla (5.9.4) se muestra una comparación entre diversos aspectos técnicos relacionados con cada uno de los sistemas, como se puede observar se tienen muchas ventajas con la aplicación de ambos sistemas dada la disponibilidad de materiales e insumos, facilidad de instalación, control y mantenimiento. En cuanto a -- eficiencia, el trazado eléctrico es más ventajoso ya que existe una mayor área de contacto entre el trazado y la tubería de proceso, sin embargo por seguridad el trazado de vapor es el más -- adecuado, ya que con el trazado eléctrico existe la posibilidad de producción de chispas por corto circuito y como se manejan hidrocarburos el riesgo de incendio es inminente, por lo que para esta aplicación en particular el trazado de vapor es el más adecuado, ya que el aspecto seguridad es primordial en el diseño de cualquier sistema.

LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL DE LINEAS CON  
REQUERIMIENTO DE TRAZADO DE VAPOR.

Línea No.	Longitud de tubería (ft)	LONG. EQUIV. DE VALVS.				Long. Eq. de Acces (ft)	Long. Eq. total(ft) L=L <sub>v</sub> +L <sub>v</sub> +L <sub>a</sub>	Pérdidas de calor btu/hr.	
		Comp. No. Ø	Globo. No. Ø	Otras. No. Ø	Long. Eq. (ft)				
01	150	2	12		12	60	22.5	232.5	20,206
02	145	1	4			6	7.0	150.0	7,130
03	20	1	4			6	1.0	27.0	1,220
04	55						2.5	57.5	6,331
05	10	1	12			20	0.5	30.5	2,662
06	10	1	12			20	0.5	30.5	2,662
07	10	1	12			20	0.5	30.5	2,662
08	10	1	12			20	0.5	30.5	2,662
09	130	1	10	1	10	45	19.0	244.0	18,056
10	40	1	10	1	10	45	12.0	97.0	7,178
11	40	1	10	1	10	45	12.0	97.0	7,178
12	145	1	10	1	10	45	17.0	207.0	15,310
13	65	2	14			56	3.0	124.0	12,276
14	10	1	10			15	0.5	25.5	1,087
15	35						1.5	36.5	2,701
16	20						1.0	21.0	1,554
17	35						1.5	36.5	2,701
18	100	1	10			15	5.0	120.0	8,880
19	10	1	10			15	0.5	25.5	1,087
20	90						4.5	94.5	6,993
21	105						5.5	110.5	8,177
22	90						4.5	94.5	6,993
23	115	1	10			15	6.0	136.0	10,064
24	25	1	10			15	1.0	41.0	3,034
25	20						1.0	21.0	1,554
26	35						1.5	36.5	2,701
27	20						1.0	21.0	1,554
28	100	1	10			15	5.0	120.0	8,880
29	10	2	14			56	0.5	66.5	6,584
30	120	1	10			15	6.0	141.0	13,959
31	150	1	10			15	7.5	172.5	17,078
32	200						10.0	210.0	14,490
33	40	1	10			15	2.0	57.0	4,218
34	50						2.5	62.5	3,800
35	35						1.5	36.5	2,701

LONGITUD EQUIVALENTE TOTAL DE LINEAS CON  
REQUERIMIENTO DE TRAZADO ELECTRICO.

Línea No.	Longitud de tubería (ft)	LONG. EQUIV. DE VALVS.				Long. Eq. de Acces. (ft)	Long. Eq. total(ft) L=L <sub>v</sub> +L <sub>v</sub> +L <sub>a</sub>	Pérdidas de calor watts.		
		Comp. No. Ø	Globo. No. Ø	Otras. No. Ø	Long. Eq. (ft)					
01	150	2	12		12	49.5	22.5	222.0	5,172	
02	145	1	4			5.0	7.0	157.0	1,727	
03	20	1	4			5.0	1.0	26.0	286	
04	55						2.5	57.5	2,300	
05	10	1	12			16.5	0.5	27.0	702	
06	10	1	12			16.5	0.5	27.0	702	
07	10	1	12			16.5	0.5	27.0	702	
08	10	1	12			16.5	0.5	27.0	702	
09	180	1	10	1	10	10	42.0	19.0	241.0	5,543
10	40	1	10	1	10	10	42.0	12.0	94.0	2,162
11	40	1	10	1	10	10	42.0	12.0	94.0	2,162
12	145	2	10	1	10	10	42.0	17.0	204.0	4,692
13	65	1	14				39.0	3.0	107.0	2,996
14	10	1	10				14.0	0.5	24.5	564
15	35						1.5	36.5	834	
16	20						1.0	21.0	672	
17	35						1.5	36.5	834	
18	100	1	10			14.0	5.0	119.0	2,737	
19	10	1	10			14.0	0.5	24.5	564	
20	90						4.5	94.5	2,174	
21	105						5.5	110.5	242	
22	90						4.5	94.5	2,174	
23	115	1	10			14.0	6.0	135.0	3,105	
24	25	1	10			14.0	1.0	40.0	920	
25	20						1.0	21.0	483	
26	35						1.5	36.5	840	
27	20						1.0	21.0	483	
28	100	1	10			14.0	5.0	119.0	2,737	
29	10	2	14			39.0	0.5	49.5	1,139	
30	120	1	10			14.0	6.0	140.0	3,220	
31	150	1	10			14.0	7.5	171.5	3,945	
32	200						10.0	210.0	4,410	
33	40	1	10			14.0	2.0	56.0	1,288	
34	50						2.5	62.5	1,208	
35	35						1.5	36.5	840	

TABLA (5.9.1) CALCULO DE LAS LONGITUDES EQUIVALENTES PARA TRAZADO DE VAPOR Y ELECTRICO.

36	50						2.5	52.5	3,385	36	50						2.5	52.5	1,208
37	25	1	10				1.0	41.0	3,034	37	25	1	10			14.0	1.0	40.0	920
38	40	1	10				2.0	57.0	4,218	38	40	1	10			14.0	2.0	56.0	1,288
39	105						5.0	110.0	8,140	39	105						5.0	110.0	2,530
40	120						6.0	126.0	9,324	40	120						6.0	126.0	2,898
41	105						5.0	110.0	8,140	41	105						5.0	110.0	2,530
42	25	1	10				1.0	41.0	3,034	42	25	1	10			14.0	1.0	40.0	920
43	40	1					2.0	57.0	4,218	43	40	1	10			14.0	2.0	56.0	1,288
44	35						1.5	36.5	2,701	44	35						1.5	36.5	840
45	50						2.5	52.5	3,885	45	50						2.5	52.5	1,208
46	35						1.5	36.5	2,701	46	35						1.5	36.5	840
47	25	1	10				1.0	41.0	3,034	47	25	1	10			14.0	1.0	40.0	920
48	15						1.0	16.0	1,396	48	15						1.0	16.0	336
49	300						30.0	330.0	12,257	49	300						30.0	330.0	3,300
50	80	2	8		1	8	19.0	135.0	8,573	50	80	2	8		1	8	19.0	132.0	2,508
51	80	2	8		1	8	19.0	135.0	8,573	51	80	2	8		1	8	19.0	132.0	2,508
52	110	2	8		1	8	20.5	166.5	10,573	52	110	2	8		1	8	20.5	163.5	3,107
53	110	2	8		1	8	20.5	166.5	10,573	53	110	2	8		1	8	20.5	163.5	3,107
54	60	1	16		1	16	64	3.0	10,986	54	60	1	16		1	16	46.0	3.0	2,834
55	25	1	16		1	16	64	1.0	7,885	55	25	1	16		1	16	46.0	1.0	1,872
56	25	1	16		1	16	64	1.5	7,829	56	25	1	16		1	16	46.0	1.5	1,885
57	25	1	12	1	1	12	40	11.0	5,244	57	25	1	12	1	1	12	35.0	11.0	1,491
58	25	1	12	1	1	12	40	11.0	5,244	58	25	1	12	1	1	12	35.0	11.0	1,491
59	25	1	12	1	1	12	40	11.0	5,244	59	25	1	12	1	1	12	35.0	11.0	1,491
60	115	1	18		1	18	72	21.0	208.0	60	115	1	18		1	18	54.0	21.0	6,650
61	75	2	6	1	6	6	36	4.0	115.0	61	75	2	6	1	6	6	32.0	4.0	1,665
62	20	1	18		1	18	72	1.0	93.0	62	20	1	18		1	18	54.0	1.0	2,625
63	40	1	14	1	1	14	57	12.0	109.0	63	40	1	14	1	1	14	41.0	12.0	2,604
64	40	1	14	1	1	14	57	12.0	109.0	64	40	1	14	1	1	14	41.0	12.0	2,604
65	100	2	8	1	8	8	48	20.0	168.0	65	100	2	8	1	8	8	44.0	20.0	3,116
66	75	1	6		1	6	18	4.0	2,585	66	75	1	6		1	6	16.0	4.0	1,425
67	15	1	6		1	6	18	1.0	1,870	67	15	1	6		1	6	16.0	1.0	480
68	492	2	4	1	1	4	19	35.0	546.0	68	492	2	4	1	1	4	17.0	35.0	5,984
69	35	1	4				6	1.5	42.5	69	35	1	4				5.0	1.5	457
70	40	1	4	1	1	4	13	30.0	63.0	70	40	1	4	1	1	4	12.0	30.0	704
71	150	4	4	1	4	4	36	22.5	172.5	71	150	4	4	1	4	4	22.5	202.5	2,228
72	195						10.0	205.0	20,295	72	195						10.0	205.0	5,740
73	40	1	10				15	2.0	57.0	73	40	1	10				14.0	2.0	1,288
74	40	1	10				15	2.0	57.0	74	40	1	10				14.0	2.0	1,288
75	40	1	10				15	2.0	57.0	75	40	1	10				14.0	2.0	1,288
76	15	1	10				15	1.0	31.0	76	15	1	10				1.0	30.0	690
77	65						3.0	68.0	6,732	77	65						14.0	3.0	1,904

TABLE (5.9.1) CONT.....

78	40	1	10				15	2.0	57.0	4,218	78	40	1	10				14.0	2.0	56.0	1,288	
79	40	1	10				15	2.0	57.0	4,218	79	40	1	10				14.0	2.0	56.0	1,288	
80	40	1	10				15	2.0	57.0	4,218	80	40	1	10				14.0	2.0	56.0	1,288	
81	70	1	6				18	3.5	91.5	5,033	81	70	1	6			1	6	3.5	89.5	1,343	
82	25	1	6		1		18	1.0	44.0	2,420	82	25	1	6			1	6	1.0	42.0	630	
83	210	2	14	1	14	1	8	25.5	331.5	32,819	83	210	2	14	1	14	1	8	25.5	305.0	8,540	
84	275	3	6				36	29.0	340.0	18,700	84	275	3	6			1	6	29.0	336.0	5,040	
85	150	1	6	1			27	17.5	194.5	10,696	85	150	1	6	1		1	6	17.5	191.5	2,873	
86	40	1	6	1			27	12.0	79.0	4,345	86	40	1	6	1		1	6	12.0	76.0	1,140	
87	80							4.0	84.0	3,794	87	80							4.0	84.0	924	
88	110							5.5	115.5	5,216	88	110							5.5	115.5	1,271	
89	125	2	10				30	8.0	163.0	12,062	89	125	2	10					28.0	2.0	155.0	3,565
90	125	2	10				30	8.0	163.0	12,062	90	125	2	10					28.0	2.0	155.0	3,565
91	125	2	10				30	8.0	163.0	12,062	91	125	2	10					28.0	2.0	155.0	3,565
92	125	2	10				30	8.0	163.0	12,062	92	125	2	10					28.0	2.0	155.0	3,565
93	55	1	10				15	2.5	72.5	5,365	93	55	1	10					14.0	2.0	71.0	1,633
94	45	1	10				15	1.5	61.5	4,551	94	45	1	10					14.0	2.0	61.0	1,403

NOTAS: Las longitudes equivalentes de válvulas y accesorios fueron obtenidos de las tablas (3.5.7) y (4.5.1).

TABLA (5.9.1) CALCULO DE LAS LOGITUDES EQUIVALENTES PARA  
LOS SISTEMAS DE TRAZADO DE VAPOR Y ELECTRICO.

Línea No.	Longitud del Trazado	Pérdidas de calor (Btu/hr-ft)	Número de Trazados	Número de Circuitos	Flujo de vapor	Especificación del Trazado		Trampas de Vapor.	Cemento que Transfiere calor		Cubiertas Protectoras
						Øt (in)	Material		Tipo	Espesor	
01	232.5	87.25	2	2	23.67	0.5				1/4"	
02	158.0	45.16	1	1	8.33	0.5				1/4"	
03	27.0	45.16	1	1	1.42	0.5				1/4"	
04	57.5	110.1	2	1	7.38	0.5					
05	30.5	87.25	2	1	3.10	0.5					
06	30.5	87.25	2	1	3.10	0.5					
07	30.5	87.25	2	1	3.10	0.5					
08	30.5	87.25	2	1	3.10	0.5					
09	244.0	74	2	2	21.06	0.5					
10	97.0	74	2	1	8.38	0.5					
11	97.0	74	2	1	8.38	0.5					
12	207.0	74	2	2	17.87	0.5					
13	124.0	99	2	1	14.32	0.5					
14	25.5	74	2	1	2.20	0.5					
15	36.5	74	2	1	3.15	0.5					
16	21.0	74	2	1	1.81	0.5					
17	36.5	74	2	1	3.15	0.5					
18	120.0	74	2	1	10.36	0.5					
19	25.5	74	2	1	2.20	0.5					
20	94.5	74	2	1	8.15	0.5					
21	110.5	74	2	1	9.54	0.5					
22	94.5	74	2	1	8.15	0.5					
23	136.0	74	2	1	11.74	0.5					
24	41.0	74	2	1	3.54	0.5					
25	21.0	74	2	1	1.81	0.5					
26	36.5	74	2	1	3.15	0.5					
27	21.0	74	2	1	1.81	0.5					
28	120.0	74	2	1	10.36	0.5					
29	66.5	99	2	1	7.68	0.5					
30	141.0	99	2	1	16.28	0.5					
31	172.5	99	2	2	19.92	0.5					
32	210.0	69	2	2	16.90	0.5					
33	57.0	74	2	1	4.92	0.5					
34	52.5	74	2	1	4.53	0.5					

Tubo de cobre flexible según especificación ASTM a 179

Ver apartado e.2 de 3.8.4

Insolubles en agua. ver (3.6)

Aluminio Ver (3.7.5)

TABLA (5.9.2) RESULTADOS DEL DISEÑO DEL TRAZADO DE VAPOR



35	36.5	74	2	1	3.15	0.5				1/4"
36	52.5	74	2	1	4.53	0.5				1/4"
37	41.0	74	2	1	3.54	0.5				
38	57.0	74	2	1	4.92	0.5				
39	110.0	74	2	1	9.50	0.5				
40	126.0	74	2	1	10.88	0.5				
41	110.0	74	2	1	9.50	0.5				
42	41.0	74	2	1	3.54	0.5				
43	57.0	74	2	1	4.92	0.5				
44	36.5	74	2	1	3.15	0.5				
45	52.5	74	2	1	4.53	0.5				
46	36.5	74	2	1	3.15	0.5				
47	41.0	74	2	1	3.54	0.5				
48	16.0	87.25	2	1	1.62	0.5				
49	330.0	37.14	1	2	14.3	0.5				
50	135.0	63.5	2	1	10.00	0.5				
51	135.0	63.5	2	1	10.00	0.5				
52	166.5	63.5	2	1	12.33	0.5				
53	166.5	63.5	2	1	12.33	0.5				
54	127.0	86.5	2	1	12.71	0.5				
55	90.0	86.5	2	1	9.08	0.5				
56	90.5	86.5	2	1	9.133	0.5				
57	76.0	69	2	1	6.11	0.5				
58	76.0	69	2	1	6.11	0.5				
59	76.0	69	2	1	6.11	0.5				
60	208.0	122	3	2	29.60	0.5				
61	115.0	55	2	1	7.27	0.5				
62	93.0	122	3	1	13.24	0.5				
63	109.0	99	2	1	12.59	0.5				
64	109.0	99	2	1	12.59	0.5				
65	168.0	63.5	2	1	12.45	0.5				
66	47.0	55	2	1	3.02	0.5				
67	34.0	55	2	1	2.18	0.5				
68	546.0	55	1	4	35.03	0.5				
69	42.5	55	1	1	2.72	0.5				
70	83.0	55	1	1	5.32	0.5				
71	172.5	55	1	2	11.06	0.5				

Tubo de cobre flexible según especificación ASTM A 179

Ver Apartado e.2 de 3.8.4

Insoluble en agua Ver (3.6)

Aluminio Ver (3.7.5)

TABLA (5.9.2) CONT.....

72	205.0	99	2	2	23.67	0.5				1/4"	
73	57.0	74	2	1	4.92	0.5					
74	57.0	74	2	1	4.92	0.5					
75	57.0	74	2	1	4.92	0.5					
76	31.0	74	2	1	2.67	0.5					
77	68.0	99	2	1	7.85	0.5					
78	57.0	74	2	1	4.92	0.5					
79	57.0	74	2	1	4.92	0.5					
80	57.0	74	2	1	4.92	0.5					
81	91.5	55	2	1	5.87	0.5					
82	44.0	55	2	1	2.82	0.5					
83	331.5	99	2	2	38.30	0.5					
84	340.0	55	2	2	21.80	0.5					
85	194.5	55	2	2	12.48	0.5					
86	79.0	55	2	1	5.07	0.5					
87	84.0	45.16	1	1	4.42	0.5					
88	115.5	45.16	1	1	6.08	0.5					
89	163.0	74	2	1	14.07	0.5					
90	163.0	74	2	1	14.07	0.5					
91	163.0	74	2	1	14.07	0.5					
92	163.0	74	2	1	14.07	0.5					
93	72.5	74	2	1	6.26	0.5					
94	61.5	74	2	1	5.30	0.5					

Tubo de cobre flexible según especificación ASTM A 179

Ver apartado e.2 de 3.8.4

Insolubles en agua ver (3.6)

Aluminio Ver (3.7.5)

NOTAS:

1. Se refiere a trazado de vapor externo
2. La longitud del trazado está dada en ft
3. El vapor es saturado de 150 lb/in<sup>2</sup>, T=365.9°F  
H = 857.1 Btu/lb.
4. Para número de trazados y número de circuitos ver apartados 3 y f de (3.8.4)
5. Para trampas de vapor ver apartado e.2 de (3.8.4)
6. Para la especificación del trazado ver apartado e.2 de (3.8.4)
7. Para cementos que transfieren calor ver (3.6)
8. Para cubiertas protectoras ver (3.7.5)
9. El flujo de vapor está dado en lb/hr.

TABLA (5.9.2) RESULTADOS DEL DISEÑO DEL TRAZADO DE VAPOR

Línea no.	Tipo de Trazado Eléctrico	Long. del trazado (ft)	Pérdidas de calor watts/ft	Especifica ción del cable	Volta je (volts)	Corrien te (amps.)	Potencia Real del cable (watts)	Número de fases	Número de trazados	Número de circuitos	Cemento que transfiere calor		Cubierta Protectora
											Tipo	Espesor	
01	Resistencia indirecta tipo cable de calentamiento	222.0	26	2 C 05	220	13.50	2975	3	2	3	Insoluble en agua Ver (3.6)	1/4"	Aluminio (Ver 4.6.2)
02		157.0	11	2 B 50	220	9.56	2104	3	1	2			
03		26.0	11	2 A 20	110	3.07	333	2	1	1			
04		57.0	40	2 B 50	110	13.27	1460	2	2	1			
05		27.0	26	2 A 30	110	3.68	405	2	2	1			
06		27.0	26	2 A 30	110	3.68	405	2	2	1			
07		27.0	26	2 A 30	110	3.68	405	2	2	1			
08		27.0	26	2 A 30	110	3.68	405	2	2	1			
09		241.0	23	2 C 05	220	12.60	2772	3	2	3			
10		94.0	23	2 B 40	220	9.33	2162	3	1	1			
11		94.0	23	2 B 40	220	9.33	2162	3	1	1			
12		204.0	23	2 C 10	220	24.11	5304	3	1	2			
13		107.0	28	2 B 30	220	7.00	1541	3	2	1			
14		24.5	23	2 A 20	110	3.16	348	2	2	1			
15		36.5	23	2 A 10	220	2.49	548	3	2	1			
16		21.0	23	2 A 10	110	2.29	252	2	2	1			
17		36.5	23	2 A 10	220	2.49	548	3	2	1			
18		119.0	23	2 B 50	220	12.44	2737	3	1	2			
19		24.0	23	2 A 40	110	3.10	552	2	1	1			
20		94.5	23	2 B 40	220	3.38	2174	3	1	1			
21		110.5	23	2 B 50	220	13.56	2934	3	1	2			
22		94.5	23	2 B 40	220	9.88	2174	3	1	1			
23		135.0	23	2 B 60	220	17.43	3834	3	1	2			
24		40.0	23	2 A 10	220	2.40	528	3	2	1			
25		21.0	23	2 A 10	220	1.15	252	3	2	1			
26		36.5	23	2 A 10	220	2.49	548	3	2	1			
27		21.0	23	2 A 10	110	2.49	250	2	2	1			
28		119.0	23	2 B 50	220	12.44	2737	3	1	2			
29		49.5	23	2 A 20	220	3.24	713	1	2	1			
30		140.0	23	2 B 60	220	16.80	3696	3	1	2			
31		171.5	23	2 B 50	220	8.96	1972	3	2	2			
32		210.0	21	2 C 10	220	22.53	4956	3	1	2			
33		56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1			
34	52.5	23	2 A 20	220	2.96	651	3	2	1				
35	36.5	23	2 A 10	220	2.49	548	3	2	1				
36	52.5	23	2 A 20	220	2.96	651	3	2	1				
37	40.0	23	2 A 10	220	2.40	528	3	2	1				
38	56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1				
39	110.0	23	2 B 50	220	13.50	2970	3	1	2				

TABLA (5.9.3) RESULTADOS DEL DISEÑO DEL FRAZADO ELECTRICO

40	126.0	23	2 B 40	220	7.33	1613	3	2	2		
41	110.0	23	2 B 50	220	13.50	2970	3	1	2		
42	40.0	23	2 A 10	220	2.40	528	3	2	1		
43	56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1		
44	36.5	23	2 A 10	220	2.49	548	3	2	1		
45	52.5	23	2 A 20	220	2.96	651	3	2	1		
46	36.5	23	2 A 10	220	2.49	548	3	2	1		
47	40.0	23	2 A 10	220	2.40	528	3	2	1		
48	16.0	21	2 A 05	110	1.30	198	2	2	1		
49	330.0	10	2 C 10	220	15.00	3300	3	1	4		
50	132.0	19	2 B 50	220	11.40	2508	3	1	2		
51	132.0	19	2 B 50	220	11.40	2508	3	1	2		
52	163.5	19	2 B 60	220	14.27	3139	3	1	2		
53	163.5	19	2 B 60	220	14.27	3139	3	1	2		
54	109.0	26	2 B 50	220	13.58	2987	3	1	2		
55	72.0	26	2 B 10	220	5.10	1123	3	2	1		
56	72.5	26	2 B 10	220	5.14	1131	3	2	1		
57	71.0	21	2 A 40	220	3.49	767	3	2	1		
58	71.0	21	2 A 40	220	3.49	767	3	2	1		
59	71.0	21	2 A 40	220	3.49	767	3	2	1		
60	190.0	35	2 C 05	220	15.11	3325	3	3	2		
61	111.0	15	2 B 30	220	8.07	1776	3	1	2		
62	75.0	35	2 B 60	110	15.68	1725	2	2	1		
63	93.0	28	2 B 20	220	6.34	1395	3	2	1		
64	93.0	28	2 B 20	220	6.34	1395	3	2	1		
65	164.0	19	2 B 60	220	14.31	3149	3	1	2		
66	95.0	15	2 B 30	220	7.86	1719	3	1	1		
67	32.0	15	2 A 05	220	2.18	480	3	1	1		
68	544.0	11	2 C 40	220	32.15	7072	3	1	6		
69	41.5	11	2 A 10	220	2.45	540	3	1	1		
70	64.0	11	2 A 40	220	3.78	832	3	1	1		
71	202.5	11	2 B 60	220	11.78	2592	3	1	2		
72	205.0	28	2 C 05	220	13.98	3075	3	2	2		
73	56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1		
74	56.0	23	2 A 20	220	2.9	644	3	2	1		
75	56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1		
76	30.0	23	2 A 05	220	1.91	420	3	2	1		
77	68.0	28	2 B 10	220	5.25	1156	3	2	1		
78	56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1		
79	56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1		
80	56.0	23	2 A 20	220	2.93	644	3	2	1		
81	89.5	15	2 B 20	220	6.51	1432	3	1	1		

Insoluble en agua Ver (3.6)

1/4"

Aluminio (Ver 4.6.2)

800

TABLA (5.9.3) CONT.....

32	Resistencia indirecta ti- po cable de calentamiento	42.0	15	2 A 20	220	3.70	815	3	1	1	Insoluble en agua Ver(3.6)	1/4"	Aluminio (Ver 4.6.2)
33		305.0	28	2 C 20	220	25.23	5551	3	2	3			
34		336.0	15	2 C 20	220	22.91	5040	3	1	4			
35		191.5	15	2 C 05	220	15.32	3370	3	1	2			
36		76.0	15	2 A 30	220	2.69	593	3	2	1			
37		84.0	11	2 B 10	220	4.43	974	3	1	1			
38		115.5	11	2 B 30	220	6.51	1432	3	1	2			
39		155.0	23	2 B 50	220	9.36	2170	3	2	2			
40		155.0	23	2 B 50	220	9.86	2170	3	2	2			
41		155.0	23	2 B 50	220	9.86	2170	3	2	2			
42		155.0	23	2 B 50	220	9.86	2170	3	2	2			
43		71.0	23	2 B 10	220	5.16	1136	3	2	1			
44		61.0	23	2 A 30	220	3.27	720	3	2	1			

NOTAS:

1.- La potencia y corriente reportadas son por cada trazado.

2.- La frecuencia es 60 HZ.

TABLA (5.9.3) RESULTADOS DEL DISEÑO DEL TRAZADO ELECTRICO

REQUERIMIENTOS	TRAZADO DE VAPOR EXTERNO		TRAZADO ELECTRICO CON CABLE DE CALENTAMIENTO	
	VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SEGURIDAD	Es muy seguro ya que es fácil de controlar. En caso de fugas se pueden detectar fácilmente.	NINGUNA	NINGUNA	Peligro de incendio por corto circuito en el sistema el cable está sujeto a quemarse.
DISPONIBILIDAD DE INSUMOS.	Hay vapor en la planta Se emplea tubo de cobre flexible.	Si falla el vapor el sistema no opera.	Se cuenta con energía eléctrica	Si falla la energía eléctrica el sistema no opera.
INSTALACION	Fácil trazado sobre tubería recta.	Difícil trazado sobre válvulas y accesorios.	Fácil reemplazo del sistema sin desmantelar la tubería.	NINGUNA
OPERACION	No hay posibilidad de contaminación del fluido de proceso.	Limitada longitud del trazado debido a caídas de presión.	No hay posibilidad de contaminación del fluido de proceso.	No existe calentamiento Uniforme en toda la superficie de la tubería.
CONTROL	Se logra un buen control de la temperatura por control del flujo de vapor	Se pierde control de la temperatura si falla el sistema.	Buen control de la temperatura debido al uso de termostatos.	Se pierde el control de la temperatura si fallan los termostatos.
EFICIENCIA	Util para pequeñas cargas de calor empleando un solo trazado. Cuando se usan cementos que transfieren calor el area de contacto se incrementa.	Poca área de contacto entre el trazado y tubería para grandes cargas de calor se requieren trazados múltiples.	Hay buena área de contacto entre el trazado y la tubería.	Para grandes trayectorias se requieren múltiples circuitos se requieren cementos que transfieren calor cuando se requieren cargas mayores de 10 w/ft.
APLICACION	Es recomendable dado el tipo de proceso ya que se manejan fluidos inflamables	NINGUNA	La instalación debe ser muy cuidadosa para que sea aplicable y aún así hay riesgo, dado que se manejan fluidos inflamables.	POCA UTILIDAD.
MANTENIMIENTO	Fácil limpieza de la tubería de proceso.	En caso de fugas hay que desmantelar el aislamiento.	Fácil limpieza de la tubería de proceso.	Problemas por corrosión galvánica en caso de mala instalación.

TABLA (5.9.4) COMPARACION TECNICA

## CAPITULO VI

## ESTUDIO ECONOMICO

## 6.1 BASES DE ESTUDIO

El estudio económico está basado fundamentalmente en el estimado de costos de capital; los cuales incluyen costos de materiales y mano de obra de instalación, y en los costos operativos; que incluyen costos de los-  
insumos (vapor o energía eléctrica) y de manténimiento.

En el estudio económico de los sistemas de trazado, no se incluye el --  
aislamiento térmico por dos razones; el aislamiento se requiere dadas -  
las condiciones de operación de la planta, además ámbos sistemas tienen  
el mismo tipo de aislamiento, lo que incrementa el costo en forma pro--  
porcional, por lo que se omite este concepto.

El costo de todos los conceptos anteriores está actualizado a octubre -  
de 1934 y fue obtenido de distintos proveedores de materiales para sis-  
temas de trazado.

Todos los costos están dados en moneda nacional. Si se desea convertir  
a dólares se deberá utilizar un tipo de cambio de 200 (Doscientos pesos  
00/100 M.N.) por dólar.

El objetivo de hacer una comparación de este tipo es precisamente eva--  
luar que tipo de trazado resulta ser más económico en un plazo determi-  
nado, ya que si bien los costos de capital en un principio son más ele-  
vados para un sistema de trazado, los costos operativos pueden ser meno  
res y a largo plazo compensar e incluso abatir los costos iniciales de-  
capital.



Desde luego que esto deberá estar aunado a los requerimientos técnicos - discutidos en el capítulo anterior ya que el sistema seleccionado primeramente deberá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad para ser seleccionado. Solo en el caso de que técnicamente ambos sistemas cumplan, entonces el estudio económico será mandatorio.

En (6.1.1) y (6.1.2) se discutirán las bases particulares del estudio económico para cada uno de los sistemas de trazado.

#### 6.1.1 Trazado de Vapor.

Para llevar a cabo el estimado de los costos de capital es necesario primeramente hacer un recuento de todos y cada uno de los materiales para la instalación del trazado de vapor, como lo son; - tuberías principales y secundarias de alimentación de vapor y retorno de condensados, el trazado de vapor en sí, las tuberías de alimentación a trazados, conjuntos de trampas de vapor, válvulas, conectores y todos los accesorios necesarios para completar - - la instalación.

El estimado se lleva a cabo con base en el Plano de Localización- General y rutas de tubería propuestas.

Además se requiere de la información que proporcionan las tablas de resultados del Capítulo anterior, para el estimado del número de trazados, número de circuitos, longitud de los trazados, pérdi das de calor unitarias y totales, etc.

Para el trazado de vapor se proponen:

1 Cabezal principal de alimentación de vapor de 3" de diámetro, 1 cabezal principal de retorno de condensado de 2" de diámetro, - y los accesorios necesarios de instalación, lo cual se muestra en la tabla (6.2.1).

20 subcabezales de alimentación de vapor de 1 1/2" de diámetro de 3 metros de longitud cada uno, 10 trazados de 1/2" por subcabezal y 1 subcabezal para 7 trazados de 1/2", ya que se tiene un total de 207 trazados, ver Tabla (5.9.2).

Para el retorno de condensados también se emplean 21 subcabezales de 2" de diámetro, además de los accesorios necesarios para la -- instalación, esto se muestra en la Tabla (6.2.2)

Los materiales para el trazado de vapor se describen en la Tabla (6.2.3), la tubería de alimentación a trazados se pueden consultar en la Tabla (6.2.4), el conjunto de trampas de vapor de las cua-- les se emplea una por trazado se muestran en la Tabla (6.2.5).

Los costos operativos y de mantenimiento se muestran en (6.2.2).

Las bases para la selección de materiales y diseño del sistema se pueden consultar en (3.8) ESPECIFICACION GENERAL DE TRAZADO DE VA  
POR.

#### 6.1.2 Trazado Eléctrico.

El estudio económico de trazado eléctrico se lleva a cabo bajo las mismas consideraciones que el trazado de vapor y siguiendo las mismas trayectorias basadas en el Plano de Localización General.

Aquí se seleccionan los materiales y accesorios necesarios del CAPITULO V TRAZADO ELECTRICO, además de la información técnica que proporcionan las tablas de resultados del capítulo anterior.

Para el trazado eléctrico se dispone de energía eléctrica de las siguientes características:

110 volts 2 fases 60 Hz.

220 volts 3 fases 60 Hz.

Habrán un sistema principal de alimentación de energía eléctrica de 110 volts y uno de 220 volts, el cual incluye cables de 2 y 3 hilos, paneles y los accesorios necesarios para su instalación.

Se tendrán 13 puntos de alimentación y cada uno alimentará 10 circuitos, ya que se tienen 130 circuitos de 220 volts.

Se tendrán otros 2 puntos de alimentación y cada uno alimentará 11 circuitos, ya que se tienen 22 circuitos de 110 volts esto se muestra en la Tabla (6.3.1).

Se tienen un total de 152 circuitos de trazado y los materiales para este, cajas de conexión, termostatos, etc. se muestran en la --

**Tabla (6.3.2).**

Los costos operativos y de mantenimiento para el trazado eléctrico se muestran en (6.3.2).

## 6.2 ESTUDIO ECONOMICO DEL TRAZADO DE VAPOR.

## 6.2.1 Costos de Capital.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	MATERIAL PRECIO TOTAL	MANO DE OBRA	TOTAL MANO DE OBRA	C O S T O T O T A L
Tubería 3"Ø Ac. Carbón	120 m	5,706 \$/m	\$684,720	320 \$/m	\$ 38,400	\$ 723,120
Tapón Hembra. 3" Ac. Carbón.	2	\$ 1,373	\$ 2,746	240 \$/Pza.	\$ 480	\$ 3,226
Tees de 3" Ac. Carbón	21	\$ 7,683	\$161,343	800 \$/Pza.	\$ 16,800	\$ 178,143
Reducciones bushing de 3" a 1 1/2"	21	\$ 1,568	\$ 32,928	240 \$/Pza.	\$ 5,040	\$ 37,968
Válvula de Globo 3"	1	\$78,623	\$ 78,623	2,400 \$/Pza.	\$ 2,400	\$ 81,023
Tubería 2"Ø Ac. Carbón	120 m	2,775 \$/m	\$333,000	320 \$/m	\$ 38,400	\$ 371,400
Tapón Hembra. 2" Ac. Carbón	2	\$ 523	\$ 1,046	240 \$/Pza.	\$ 480	\$ 1,526
Tees de 2" Ac. Carbón	21	\$ 6,421	\$134,841	800 \$/Pza.	\$ 16,800	\$ 151,641
Válvula de Globo 2"	1	\$35,045	\$ 35,045	2,400 \$/Pza.	\$ 2,400	\$ 37,445
COSTO TOTAL = \$ 1,464,292 + \$ 121,200 = \$ 1,585,492						

TABLA (6.2.1) Tubería principal de alimentación de vapor y retorno de condensados.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	MATERIAL PRECIO TOTAL	MANO DE OBRA	TOTAL MANO DE OBRA	C O S T O T O T A L
Tubería 1 1/2" Ø Ac. Carbón	63 m	3,960 \$/m	\$249,480	320 \$/m	\$ 20,160	\$ 269,640
Tapón Hembra 1 1/2". Ac. Carbón	21	\$ 320	\$ 6,720	240 \$/Pza.	\$ 5,040	\$ 11,760
Tees de 1 1/2" Ac. Carbón.	207	\$ 8,722	\$1,805,454	800 \$/Pza.	\$165,600	\$1,971,054
Reducciones Busching de 1 1/2 a 1/2" Ac. Carbón.	207	\$ 458	\$ 94,806	240 \$/Pza.	\$ 49,680	\$ 144,486
Válvula de Globo 1 1/2"	21	\$ 20,290	\$ 426,090	2,400 \$/Pza.	\$ 50,400	\$ 476,490
Tubería 2" Ø Ac. Carbón	63 m	2,755 \$/m	\$ 173,565	320 \$/m	\$ 20,160	\$ 193,725
Tapón Hembra. 2" Ac. Carbón	21	\$ 523	\$ 10,983	240 \$/Pza.	\$ 5,040	\$ 16,023
Tees de 2" Ac. Carbón	207	\$ 6,421	\$1,329,147	800 \$/Pza.	\$165,600	\$1,494,747
Reducciones Busching de 2" a 1/2" Ac. Carbón	207	\$ 1,158	\$ 239,706	240 \$/Pza.	\$ 49,680	\$ 289,386
Válvula de Globo 2"	21	\$ 35,045	735,945	2,400 \$/Pza.	\$ 50,400	\$ 786,345
COSTO TOTAL = \$ 5,071,896 + \$ 581,760 = \$ 5,653,656						

Tabla (6.2.2) Tubería secundaria de alimentación de vapor y retorno de condensados.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	MATERIAL PRECIO TOTAL	MANO DE OBRA	TOTAL MANO DE OBRA	C O S T O T O T A L
Tubería 1/2" Ø, Cobre Flexible, según especificación ASTM -- A179.	2,965 m	550 \$/m	\$1,630,750	160 \$/m	\$474,400	\$2,105,150
Conector Macho 1/2"	207	\$ 382	\$ 79,074	120 \$/Pza.	\$ 24,840	\$ 103,914
Unión 1/2"	207	\$ 448	\$ 92,736	120 \$/Pza.	\$ 24,840	\$ 117,576
Conector Hembra 1/2"	70	\$ 896	\$ 62,720	120 \$/Pza.	\$ 8,400	\$ 71,120
Unión Reducción 1/2 a 3/8"	414	\$ 448	\$ 185,472	120 \$/Pza.	\$ 49,680	\$ 235,152
Coples 1/2"	140	\$ 48	\$ 6,720	120 \$/Pza.	\$ 16,800	\$ 23,520
COSTO TOTAL = \$ 2,057,472 + \$ 598,960 = \$ 2,656,432						

TABLA (6.2.3) Trazado de Vapor

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	MATERIAL PRECIO TOTAL	MANO DE OBRA	TOTAL MANO DE OBRA	C O S T O T O T A L
Tubería 1/2" $\emptyset$ , Ac. Carbón.	430 m	1,440 \$/m	\$ 619,200	320 \$/m	\$137,600	\$ 756,800
Unión 1/2"	207	\$ 448	\$ 92,736	240 \$/Pza.	\$ 49,680	\$ 142,416
Válvulas de Globo 1/2"	207	\$6,926	\$1,433,682	880 \$/Pza.	\$ 182,160	\$1,615,842
COSTO TOTAL = \$ 2,145,618 + \$ 369,440 = \$ 2,515,058						

TABLA (6.2.4) Tubería de alimentación a trazados.



MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	MATERIAL PRECIO TOTAL	MANO DE OBRA	TOTAL MANO DE OBRA	C O S T O T O T A L
Tubería 1/2" Ø, Ac. Carbón.	430 m	1,440 \$/m	\$619,000	320 \$/m	\$137,600	\$ 756,800
Niples 1/2"	414	\$ 50	\$20,700	200 \$/Pza.	\$ 82,800	\$ 103,500
Unión 1/2"	207	\$ 448	\$92,736	240 \$/Pza.	\$ 49,680	\$ 142,416
Trampas Termodinámicas 1/2"	207	\$14,432	\$2,987,434	800 \$/Pza.	\$165,600	\$ 3,153,034
Filtros y 1/2"	207	\$ 3,050	\$631,350	400 \$/Pza.	\$ 82,800	\$ 714,150
Válvulas de compuerta 1/2"	207	\$ 6,926	\$1,433,682	880 \$/Pza.	\$182,160	\$ 1,615,842
Válvulas de compuerta 3/8"	207	\$ 6,926	\$1,433,682	880 \$/Pza.	\$182,160	\$ 1,615,842
COSTO TOTAL = \$ 7,218,784 + \$ 882,800 = \$ 8,101,584						

TABLA (6.2.5) Conjunto de trampas de vapor.

Por tanto, el costo de capital del sistema de trazado de vapor -- (Material y mano de obra de instalación), incluyendo tuberías -- principales y secundarias de suministro de vapor y recuperación - de condensados, trazados y trampas es:

$$\text{Costo de Capital} = 1,585,492 + 5,653,656 + 2,656,432 + \\ 8,101,584 + 2,515,058$$

$$\boxed{\text{Costo de Capital} = \$ 20,512,222}$$

### 6.2.2 Costos Operativos.

#### 1. Energía.

Consumo total de vapor = 822.16 lb/hr.

Considerando pérdidas de vapor por fugas en trampas y accesorios se considerará un consumo total de 1,600 lb/hr.

Consumo Total = 1,600 lb/hr = 6,363 Ton./año.

Costos de Energía = 6,363 ton./año x 1,333.4 \$/Ton.

$$\text{Costos de Energía} = 8,484,424 \text{ \$/Año.}$$

#### 2. Mantenimiento.

Se supone que la vida de cada trampa de vapor es de 3 años.

- Inspección de trampas = 3 HH/año-Tra. x 207 Tra. x 400\$/HH

Inspección de Trampas = 248,400 \$/año.

- Reemplazo de trampas (Mano de obra)

207 Tra. x 1 Tra./3 años x 1.2 HH/Tra. x 400 \$/HH=33,120

Reemplazo de trampas (Mano de obra) = 33,120 \$/año.

- Reemplazo de trampas (Material)

207 Tra. x 1 Tra./3 años x 9,800 \$/Tra. = 676,200 \$/año.

Reemplazo de trampas (material) = 676,200 \$/año.

Total de costos de  
mantenimiento. = (248,400 + 33,120 + 676,200) \$/año

Total de Costos de Mantenimiento = 957,720 \$/año

Por tanto, el costo operativo del sistema de trazado de vapor es:

Costos Operativos = 8,484,424 \$/año + 957,720 \$/año.

**Costos Operativos = 9,442,144 \$/año.**

## 6.3 ESTUDIO ECONOMICO DEL TRAZADO ELECTRICO.

## 6.3.1 Costos de Capital.

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	MATERIAL PRECIO TOTAL	MANO DE OBRA	TOTAL MANO DE OBRA	C O S T O T O T A L
Cable de energía y conductor. (220 volts). # 2 AWG 3 conductores.	425 m	400 \$/m	\$170,000	\$ 2,400 (Incluye cable y paneles)	\$31,200	\$4,101,200
Paneles (Incluye contactores y fusibles).	13	\$ 300,000	\$3,900,000			
Cable de energía y conductor. (110 -- volts). # 2 AWG 2 conductores.	160 m	300 \$/m	\$ 48,000	\$ 2,000 (Incluye cables y paneles)	\$ 4,000	\$ 652,000
Paneles (Incluye contactores y fusibles).	2	\$ 300,000	\$600,000			
COSTO TOTAL = \$ 4,718,000 + \$ 35,200 = \$ 4,753,200						

TABLA (6.3.1) Materiales de alimentación de energía eléctrica

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	C O S T O T O T A L
Cable de calentamiento. **	2,882 m	6,000 \$/m	\$ 17,292,000
Cajas de conexión	152	\$ 11,200	\$ 1,702,400
Terminal de sello	152	\$ 1,740	\$ 264,480
Termostatos	152	\$ 44,000	\$ 6,688,000
Cinta Autoadhesiva.	170 rollos	\$ 940	\$ 159,800
COSTO TOTAL =			\$ 26,106,680

\* El costo total incluye costos de material y costos de instalación o mano de obra.

\*\* La longitud mostrada es la total e incluye cables:

2A05	2B20	2C05
2A10	2B30	2C10
2A20	2B40	2C40
2A30	2B50	
2A40	2B60	

Cuyas longitudes individuales se muestran en la tabla (5.9.3)

El precio unitario es aproximadamente el mismo para estos tipos de cable, por lo que se utiliza un costo promedio para el estimado.

Tabla (6.3.2) Materiales del Trazado Eléctrico

Por tanto, el costo de capital del sistema de trazado eléctrico

co ( Incluye materiales y mano de obra de instalación ) es:

$$\text{Costo de Capital} = 4,753,200 + 26,106,680$$

$\text{Costo de Capital} = \$ 30,859,880$
---

### 6.3.2 Costos Operativos.

#### 1. Energía.

El consumo total de energía es: 218,354 watts.

El costo de la energía es: 6.76 \$/KWH

$$* \text{Factor de Potencia} = 0.60$$

$$218.345 \text{ KW} \times 24 \text{ hrs./día} \times 365 \text{ días/año} \times 0.60$$

$$= 1,147,668.6 \text{ KWH/año} \times 6.67 \text{ \$/KWH}$$

$$= 7,758,240 \text{ \$/año.}$$

$$\text{Costos de Energía} = 7,758,240 \text{ \$/año.}$$

#### 2. Inspección.

$$2 \text{ HH/circuito-año} \times 200 \text{ \$/HH} \times 152 \text{ circuitos} = 60,800 \text{ \$/año.}$$

Por tanto, los costos operativos del sistema de trazado eléctrico son:

Costos Operativos = (7,758,240 + 60,800) \$/año

Costos Operativos = 7,819,040 \$/año

\* Debido a la diferencia de fase que hay entre las corrientes de rama, la corriente en la línea y la tensión aplicada están defasadas entre sí. Como resultado de ello, el valor de la potencia obtenida al multiplicar la tensión aplicada por la corriente de la línea sólo es la potencia aparente. Parte de esa potencia aparente regresa de la rama inductiva a la fuente, esto significa que la fuente tiene que - - transmitir más potencia de la que se usa. Así pues, para determinar la potencia disipada efectivamente en el circuito, o sea la potencia real, la potencia aparente debe multiplicarse por el coseno del ángulo de fase ( $\theta$ ) entre la tensión aplicada y la corriente en la línea. El valor del coseno de  $\theta$  es el factor de potencia del circuito.

## 6.4 RESULTADOS.

TRAZADO COSTOS	VAPOR	ELECTRICO
COSTOS DE CAPITAL ( \$ )	20,512,222	30,859,880
COSTOS OPERATIVOS ( \$/AÑO)	9,442,144	7,819,040

Tabla (6.4.1) Comparación económica de los - sistemas de trazado de vapor y eléctrico.

Los resultados obtenidos del estudio económico se resumen en la Tabla -- (6.4.1), aquí se puede observar que los costos de capital del trazado -- eléctrico son más elevados que los del trazado de vapor, sin embargo en los costos operativos sucede lo contrario y esto en un período de 6 años de operación daría como resultado que los costos se igualen, y a largo - plazo el sistema de trazado eléctrico resulte ser más económico. Sin - embargo esta consideración se da en el caso de que el sistema opere continuamente y para el caso particular de la Unidad Reductora de Viscosi-- dad no sucede así, ya que el sistema de trazado solo opera en caso de pa-- ro de la planta, lo que aumentaría enormemente el tiempo en que el traza-- do eléctrico sea más económico que el trazado de vapor. Esto aunado a - las consideraciones técnicas discutidas en el capítulo anterior trae como consecuencia que el sistema de Trazado de Vapor sea el más convenient- te para ser instalado en la planta en cuestión.



CAPITULO VII

CONCLUSIONES

1

A través del desarrollo del presente trabajo, se ha observado la importancia primordial que tienen los sistemas de Trazado de Vapor y Trazado Eléctrico -- como medios de calentamiento de tuberías en una planta de proceso.

El rápido incremento de los costos de energía en los últimos años, así como los cambios en los costos del vapor y electricidad, requieren de un estudio y evaluación adecuados para lograr el mejor diseño y aplicación de los sistemas.

Para obtener los mejores resultados es necesario llevar a cabo un estudio cuidadoso acerca de los requerimientos de trazado, así como donde van a ser instalados, el tipo de proceso, la localización de la planta, condiciones climatológicas, requerimientos de seguridad, disponibilidad de los insumos y una serie de factores que ya se han discutido ampliamente para poder llegar a la selección y diseño que cumplan con los requisitos mínimos de seguridad y flexibilidad, así como los requisitos técnicos y económicos, todos ellos factores fundamentales para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema.

En muchas de las aplicaciones, ambos sistemas de trazado cumplen con todos los requisitos técnicos y de seguridad y es precisamente aquí donde una evaluación económica adecuada marca la pauta para su selección.

Evidentemente no en todos los casos en que se va a utilizar el sistema se tienen las mismas necesidades de calentamiento; por ejemplo pueden ser utilizados para operar continuamente, o bien en forma eventual, esto depende de las características y operación particulares que se presenten en cada aplicación.

En el caso particular de la unidad reductora de viscosidad, que es donde se aplicó el estudio, se tiene que el sistema no va a operar en forma continua, sino solamente cuando se tenga una condición de paro, en la cual dadas las características de los fluidos manejados, estos tienden a solidificar en el interior de las tuberías y es aquí donde los sistemas de trazado cumplen su objetivo, ya que reponen las pérdidas de calor manteniendo fluido el sistema.

Para llevar a cabo cualquier estudio técnico-económico y en particular al efectuado en la Unidad Reductora de Viscosidad, es importante contar con información adecuada, además de entender que cada aplicación particular, debe ser tratada como un problema aparte, en algunos casos los resultados obtenidos pueden ser generalizados, aunque no es recomendable ya que es muy difícil que se presenten las mismas condiciones y que la aplicación sea similar.

El material se ha presentado en forma accesible de tal modo que resulte de utilidad para el diseño de cualquier sistema de trazado, manteniendo al mismo tiempo las normas técnicas y de seguridad requeridas para un estudio bien cimentado.

En general, el desarrollo del trabajo ha cumplido con los objetivos planteados inicialmente, como lo es la aplicación de distintas disciplinas de la Ingeniería Química para el diseño, además de tratarlos como un sistema independiente cuya utilidad y aplicación se han puesto de manifiesto dados los requerimientos de calentamiento que se tienen en la industria.

Con el paso del tiempo, el costo de los sistemas se ha venido abatiendo, prin

principalmente en trazado eléctrico, el cual una vez resueltos los problemas de seguridad en determinadas aplicaciones, y dada su facilidad de instalación y operación resultará ser más adecuado para cualquier aplicación.

En el caso de la Unidad Reductora de Viscosidad se puede observar que se tienen muchas ventajas con la aplicación de ambos sistemas, dada la disponibilidad de materiales e insumos, facilidad de instalación, control y mantenimiento. Sin embargo, por seguridad el trazado de vapor es el más adecuado, ya que con el trazado eléctrico existe la posibilidad de producción de chispas por cortocircuito y como se manejan hidrocarburos el riesgo de incendio es inminente, por lo que técnicamente en esta aplicación particular el trazado de vapor es el más adecuado.

En cuanto a lo económico se determinó que los costos de capital del trazado eléctrico son más elevados que los del trazado de vapor, sin embargo en los costos operativos sucede lo contrario y a largo plazo el costo total de los sistemas tiende a igualarse, esto último en el caso de que el sistema opere en forma continua, y como su operación es intermitente, el trazado de vapor resulta ser el más adecuado económicamente. Aunado esto a los resultados técnicos-obtenidos se selecciona el sistema de trazado de vapor como el más conveniente para ser instalado en la planta en cuestión.

Con esto se concluye que debe hacerse un estudio técnico-económico detallado, con el fin de determinar cual es el sistema que mejor se adapte a las necesidades particulares de cada planta para asegurar así su mejor operación.

## CAPITULO VIII

## BIBLIOGRAFIA

Articulos

1. An Electrical Heat-Tracing System is the Best (Technique) for Rigorous Conditions.  
Smith, M.R.  
Thermon Can. Ltd.  
Oilweek (Calgary, Alberta) Vol. 32, No. 31 24(9/7/81).
2. Design Considerations for a Reliable Electrical Pipeline Heat Tracing System for Power Plants.  
Irwin, Poul E; Pitzer R. Knox.  
Thermon Manufacturing Co., San Marcos, Texas.
3. Designing Steam Tracing.  
Carl G. Bertram and Vikrman J. Desari.  
Chemical Engineering, April 3, 1972. p.p 74-80
4. Electrical Heaters for Use in Class I Division 2 Locations.  
Joe E. Leavines.  
IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-9, No. 4,  
July/August 1973, p.p 467-472.
5. Electrical Heat-Tracing is Simple and Inexpensive.  
David L. Murdock.  
Chemical Engineering, October 20, 1980, p.p.151.
6. Electrical Method Heats Long Pipelines.  
Carson, N.B.  
Pipe Heating System Inc.  
Oil Gas Petrochem. Equip. Vol. 21, No. 8 p.p 8-9  
June 1975.

7. Electric Heating of Pipelines With Variable Resistance Wire.  
Erickson C.J.  
E.I. Du Pont de Nemours.  
IEEE Conf. Rec. 10th Biennial Conf. on Elec. Process Heat in Ind.,  
Milwaukee, Wis, Apr. 20-21, 1971, p.p 113-130.
8. Electric Heat Tracing can be Cheaper than Steam Tracing.  
Ted J. Hammack and Stephen J. Kucklinca.  
Instruments and control Systems, october 1977, p.p 37-40.
9. Electric Pipe Tracing.  
Charles W. Brown.  
Chemical Engineering, June 23, 1975, p.p 173.
10. Electric Pipe Tracing.  
Isopad Ltd; Reik P.H.  
Engineering (Lond.) Vol. 212, No. 11, p.p 1094-96 (nov. 1972).
11. Electric Pipe Tracing for the Project Manager.  
Brown, C.W.  
Nelson Electric, Tulsa Okla.  
ASME pap No. 74-pet-40 for meet, Sep. 15-18, 1974, 8 p.
12. Electric Trace Heating of Pipelines With Close Temperature Tolerance.  
Isopad ltd; Johnson P.L., Harrison J.M.  
Pipes Pipelines Int. Vol. 19, No. 6, 28(Dec. 1974) p.p 11-14.
13. Electric Versus Steam Energy for Pipeline Tracing.  
Roger L. Decker.  
IEEE Transactions on Industry and General Applications,  
Vol. IGA-6. No. 5, Sep/Oct. 1970. p.p 517-523.

14. Estimating Pipe Heat-Tracing Costs.  
Joseph T. Lonsdale and Jerry E. Mundy.  
Chemical Engineering, November 29, 1982.
  
15. Guide To Steam Tracing Design.  
J.N. Bower and H.R. Peterson.  
Hydrocarbon Processing and Petroleum Refiner, March 1963  
Vol. 42, No. 3, p.p 149-154.
  
16. Heating Long Distance Pipelines.  
Electropipe Ltd.  
Br Chem. Eng. Process Technol. Vol. 17 No. 3 (march 1972)
  
17. Heats Pipelines (Electrically).  
Ricwil Inc.  
Chemical Engineering Progress, Vol. 74 No. 4, April 1978.
  
18. (Heat-Tracing Flexible-Pipe System for) High-Viscosity Crude.  
The Coflexid, S.A.  
Pet. Inf. Ed. Int. no 1537, p.p 47-48, (12/11/80).
  
19. Heat Transfer Cements.  
Plunkett, O.J.  
Atlas Prod. and Serv Ltd, Erith, Kent.  
Pipes Pipelines Int. Vol. 19, No. 6, Dec. 1974, p.p 21-24.
  
20. How Steam and Electric Tracing Compare in Plant Operations.  
Luke A. G; Miserlis C.D.  
Oil Gas J., Vol. 75 No. 46, p.p 64-66, 71-73 (11/7/77)



New Method for Heat Tracing Long Pipelines.

Carson, N.B.

Ric-Will, Inc, Newport Beach, Calif.

ASME pap No. 74 pet-35 for meet sept. 15-18 1974, 4 p.

1. Pipe Heating By Ac. in Steel.

Othmer D.F.

Brooklyn Polytechnic Inst.

J. Pipelines, Aug. 1981. Pet. Abstr. Abst No. 313, 677, Vol. 22 No. 12, 13/20/82.

2. Pipe Heat-Tracing with Electric Impedance Heating.

Koester Electr Heat Co. Kenilworth, N.J.

Plant Ens. (Barrinston I, II) Vol. 32, No. 24, Nov. 23, 1978, p.p113-116.

3. Pipeline Trace Heating Keeps Reluctant Fluids on the Move.

Martin D. ; Isopad Ltd; Kinetics Technology.

Process Eng. (Lond.) p.p 56-57 (June 1977).

4. Pipe Tracing and Energy Conservation.

Maltby F.O.

Energy Process, Can. Vol. 70, No. 5, p.p. 51-53, May-June 1978.

5. Pipe Tracing and Insulation.

Frederick F. House.

Chemical Engineering, June 17, 1968, p.p 243-246.

6. Safety Aspects of Electrical Heating Systems.

R.M. Yurkanin and E.O. Claussen.

Chemical Engineering, December 14, 1970, p.p.164-166.

28. Self-Limiting Electrical Heat Tracing: New Solution to old Problems.  
Ted J. Hammack and Stephen J. Kucklinca.  
IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-13, No. 2,  
March/April 1977, p.p.134-138.
29. Some Aspects of a Self-Limiting Resistive Electric Heating Element.  
Joseph A. Oakes and Chet L. Sandberg.  
IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-9, No. 4,  
July/August 1973, p.p.462-466.
30. Size Steam Tracer Lines By Nomograph.  
L. Horvat.  
Hydrocarbon Processing and Petroleum Refiner, Vol. 41, 1962, p.p 198.
31. Steam Tracing of Pipelines.  
I.P. Kohli.  
Chemical Engineering, March 26, 1979, p.p. 156-163.
32. The Heating of Long Pipelines.  
Hotfoiil and Bloore F.W.  
Pipes Pipelines Int. Vol. 19, No. 6, p.p 11-14, 28(Dec. 1974)  
(Abstr) Pet. Abstr. Vol. 15, No. 11 Abstr. No. 202 p. 177 (3/15/75).
33. Temperature Control (With) Efficient Energy Use.  
Hotfoiil Ltd; PVS Control Engineering Ltd.  
Processing (Lond.) Vol. 26 No. 11, p.p.32-37 (Nov. 1980)
34. What it Costs To Steam and Electrically Trace Pipelines.  
W.H. nolstein.  
Chemical Engineering Progress, Vol. 62, No. 3, March 1966, p.p. 107-113.

35. When is Electricity Cheaper Than Steam for Pipe Tracing?  
C.H. Butz.  
Chemical Engineering, October 10, 1966, p.p 230-238.

L I B R O S

36. Applied Heat Transmission.  
Stoever, H.J.  
Ed. McGraw Hill.
37. Applied process for Chemical and Petrochemical Plants.  
Ernest E. Ludwig.  
Vols. 1,2,3, Ed. Gulf Publishing Company.
38. Chemical Engineer's Handbook.  
Perry and Chilton.  
5th edition, Ed. McGraw Hill.
39. Handbook of Industrial Pipework Engineering.  
E. Holmes.  
Ed. McGraw Hill.  
Capítulos 13 y 15 "Thermal Insulation and Piping Systems"
40. Heat Transmission.  
Mc. Adams.  
Ed. McGraw Hill.
41. Electricidad.  
Harry Mileaf.  
7 Tomos, Ed. Limusa.

42. Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso.  
Rase and Barrow.  
Ed. CECSA.
43. Plant Design and Economics for Chemical Engineering.  
Peters and Timerhaus.  
Ed. McGraw Hill.
44. Principios de Operaciones Unitarias.  
Foust, A.S.  
Ed. CECSA.
45. Procesos de Transferencia de Calor.  
Donald Q. Kern.  
Ed. CECSA.
46. Pumping of Liquids.  
F.A. Holland and F.S. Chapman.  
Ed. Reinhold Publishing Corporation.  
Capítulo 9, "Prevention of heat losses from pipelines"
47. Thermal Insulation Design Economics for pipes and Equipment.  
Turner Malloy.  
Capítulo VI, "Energy loss of heat traced piping"

Manuales y Especificaciones

48. Especificaciones Generales para Trazado de Vapor.  
1975.

49. Manual para Guía de Diseño Térmico en Trazado Eléctrico.

50. Manual Thermon Manufacturing Company.

Heat Tracing Systems.

San Marcos, Texas 1980.