

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS**

**DISEÑO DE LA TUBERIA PARA UNA  
TORRE AL ALTO VACIO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO PRESENTA**

**FRANCISCO XAVIER GARZA M.**

**MEXICO, D. F.**

**1961**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**A MIS PADRES**  
Con cariño y agradecimiento.

**A MIS HERMANOS.**

**A MIS MAESTROS Y AMIGOS.**

**Mi más sincero agradecimiento a todos los  
que hicieron posible que se lograra esta tesis.**

## C O N T E N I D O

### Capítulo I

Introducción.

### Capítulo II

- a) Generalidades.
- b) Características del trabajo.

### Capítulo III

- a) Descripción del proceso.
- b) Diagramas.
- c) Balance de materia.

### Capítulo IV

- a) Clasificación de las principales líneas.
- b) Alimentación y descarga.
- c) Reflujo Circulante y líneas de Vapor.

### Capítulo V

- a) Cálculo del diámetro de las líneas.
- b) Cálculo del espesor de la tubería.
- c) Selección del tipo de tubería.

### Capítulo VI

- a) Cálculo de los esfuerzos debidos a la presión y temperatura.
- b) Cálculo de las distancias entre soportes.

### Capítulo VII

- a) Conclusiones.

### Capítulo VIII

- a) Bibliografía.

CAPITULO I  
INTRODUCCION

En la Ingeniería Química una de las operaciones más importantes es la del transporte de flúidos, efectuándose este por dos métodos; El primero y poco usado es el de canales abiertos y el segundo y más importante es por medio de sistemas de tuberías.

Para seleccionar una tubería hay que considerar tres factores principalmente los factores físicos, los químicos y los económicos.

Entre los factores físicos hay que tomar en cuenta la rigidez, dureza, elasticidad ocasionando tensiones, compresiones, expansiones etc. . .

Entre los químicos se encuentra la acción que ejerce el flúido circulante sobre el material de que está constituida la tubería.

Por último el factor económico que es el principal y llega a alcanzar hasta 40 y 50% de las instalaciones industriales.

Las tuberías se han clasificado en dos grandes grupos, basándose esta división en el material de que están constituidas.

El primer grupo está formado por todas aquellas tuberías metálicas, este grupo se subdivide a su vez en: Ferrosas y No-Ferrosas. Entre las No-Ferrosas hay fabricadas de Cobre, Aluminio, Latón, Bronce, Plomo, etc.

Entre las ferrosas se encuentran los diferentes aceros al Carbón, aceros inoxidable a base de Níquel, Cromo, Molibdeno, Tungsteno que le imparten las siguientes características.

El manganeso es usado como deoxidante y desulfurizador, el Cromo incrementa la dureza y la resistencia al golpeo o choque, además le imparte ductibilidad y resistencia a la tensión.

El Vanadio le imparte tersura al metal, sin disminuir su ductibilidad y aumentando el límite elástico.

El tungsteno se usa en la manufactura de herramientas de acero sujetas a alta velocidad por sus propiedades de impartir dure-

za y resistencia a las aleaciones de acero sometidas a altas temperaturas.

El molibdeno mejora el grano por lo que queda el acero más terso.

El segundo grupo está constituido por todas aquellas tuberías hechas de materiales como son el vidrio, madera, ebonita, hules, plásticos, concretos, porcelana, neopreno, asbesto-cemento, etc . . .



## CAPITULO II.)

a) GENERALIDADES

b) CARACTERISTICAS DEL TRABAJO

Las tuberías de acero ferrosas se fabrican en diferentes espesores de pared según la presión a que va a ser sometida.

Anteriormente sólo existían tres tipos de tuberías que eran: La Estándar, la Extrafuerte y la Doble Extrafuerte: esa nomenclatura ha ido cayendo en desuso para dar preferencia a la creada por la A.S.A. (American Standard Association) en la cual existen diez clases ó cédulas que son: La cédula 10, la 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, de las cuales la Céd. 40 corresponde a la estándar, la 80 corresponde a la Extrafuerte y la 160 a la Doble Extrafuerte.

Al ir aumentando la Cédula, va aumentando el espesor de la pared y por lo tanto el peso. En el mercado las tuberías mayores de 12" son más conocidas por el espesor de la pared que por la cédula.

Otra característica muy importante en las tuberías es que hasta 16" de diámetro no llevan costura y mayores a este valor llevan una costura longitudinal, o van reforzadas.

La tubería sin costura presenta mayor resistencia a los esfuerzos ya que no hay puntos débiles (que son las costuras), por lo que respecta a las tuberías con costura, éstas son hechas en moldes y soldadas por mitades, ya sea con soldadura eléctrica o autógena. Precisamente este es el lugar que primero es atacado por flúidos corrosivos y donde se originan fracturas en caso de altas tensiones.

## ACCESORIOS

El objeto de los accesorios en las tuberías es unir dos o más tramos, tener otros ramales para lo cual se recurre a piezas "TE", "Y" o "Cruces", cambiar la dirección del flujo por medio de codos de 45 y 90°, reducir el diámetro con "Campanas" y reducciones excéntricas, cerrar líneas por medio de piezas llamadas "Cachuchas" cuya función es semejante a la de las "Bridas Ciegas" sólo que las Cachuchas son accesorios que van soldados a la línea.

Además de todos estos existen otros como son los "Niples" que son pedazos de tubería que nunca pasan de 6" de largo, estos presentan rosca externa, los Coples son semejantes a los niples sólo que la rosca es interior.

En diámetros pequeños la forma de unir dos tramos de tubería es por medio de "Tuercas Unión"; otras veces es necesario colocar piezas que simplifiquen el trabajo como son los "Codos Campana" que son piezas que tienen cara de diferentes diámetros.

Todos estos accesorios tienen la ventaja de que se pueden quitar y volverse a instalar; para propósitos de limpieza, mantenimiento y reparación.

Hay tres métodos para unir tuberías que son: Roscadas usadas en líneas hasta de 3" de diámetro, presentando la desventaja que no es un cierre hermético y frecuentemente ocurren fugas. Bridadas que es un método muy caro, y soldadas que son las más resistentes y económicas y por lo tanto las más usadas.

## V A L V U L A S

Las válvulas tienen tres objetos principales a saber: Abrir o cerrar un sistema, controlar un flujo o como medida de protección como son las válvulas de seguridad.

Entre las válvulas más usuales están las siguientes:

### a) VALVULAS DE COMPUERTA.

Estas se utilizan sólo para abrir o cerrar un sistema, habiendo dos tipos principales: la de vástago fijo y la O. S. & Y. (Out Side and Yoke) siendo esta última muy útil ya que la rosca es externa y permite observar constantemente el movimiento de apertura, además la rosca no está en contacto con el fluido por lo que es una gran ventaja en líquidos corrosivos.

### b) VALVULAS "MACHO".

Constituyen el método más simple de regular el flujo de fluidos o mejor dicho no regulan sino abren o cierran un sistema en un momento dado por un giro de 90° o una tuerca, la desventaja en este tipo de válvulas es que suele pegarse el cono al cuerpo dificultándose al moverlos, para remediarlo se injerta grasa lubricante por el vástago al cono.

### c) VALVULAS DE GLOBO, ANGULO Y AGUJA.

Estas válvulas si se usan para regular perfectamente el flujo, con la diferencia de que las de aguja se utilizan en líneas que llevan

flúidos a altas presiones en diámetros pequeños y obteniéndose controles muy exactos.

Las válvulas de Globo se clasifican también en válvulas de rosca interna y de rosca externa (O. S. & Y), siendo las primeras muy usadas en diámetros pequeños.

La caída de presión en este tipo de válvulas es mucho mayor que en las de compuerta por lo que tienen poco uso en las líneas de vapor con presiones mayores de 250 #., por otro lado este tipo de válvulas no puede manejar sólidos.

#### d) VALVULAS DE RETENCION.

Las válvulas de Retención o de Check son utilizadas para asegurar que el flujo no regrese, es decir, que sea unidireccional (el flujo). Hay dos tipos de válvulas de retención generalmente, la "Balancín" o puerta giratoria, en ésta el flujo empuja a la compuerta y en el momento que deja de fluir el producto, la compuerta vuelve a bajar impidiendo el regreso del flúido. El otro tipo corresponde a las válvulas de "Bolas", existiendo en cada caso válvulas horizontales y verticales.

#### e) VALVULAS DE SEGURIDAD.

Hay dos tipos principalmente, en el primero las válvulas que transportan una cierta cantidad de flúido a una presión dada están calibradas a dicha presión y en el momento en que cambia el flujo o la presión, mueven un resorte abriendo un escape hasta que la presión baja, regresando el resorte a su lugar de origen, el segundo tipo lo forman las válvulas que tienen ese resorte manual, es decir, hay que volver a calibrar la válvula.

#### f) VALVULAS AUTOMATICAS.

El flúido que circula por una válvula automática a una presión determinada mueve un aditamento o resorte a dicha presión, éste manda una señal por medio de aire a la caseta de control, en donde indica la cantidad que está fluyendo en un cuadrante, pudiendo dicho flujo ser regulado manual o automáticamente.

"Las válvulas de diafragma" se llaman así porque tienen un diafragma de hule que está sujeto a cambios de temperatura del líquido en un recipiente o de la presión de un instrumento regulador que suele ser registrador a la vez, así al variar la temperatura, varía el flujo.

Hay un segundo tipo de válvulas que está actuada por electroimanes o solenoides que registran diferentes temperaturas del flúido.

do haciendo que ésto abra o cierre el sistema a una cantidad determinada.

#### g) VALVULAS DE MARIPOSA.

Son construidas para proporcionar un control del flujo sin oponer resistencia, y eliminando la turbulencia. El asiento de un hule especial hace un cierre hermético con el disco o mariposa, siendo ésta la única pieza que está en contacto con el fluido. Están hechas a base de Bronce-Manganeso, para prevenir la corrosión.

#### h) VALVULAS DE DIAFRAGMA.

En este tipo de válvulas el cierre se efectúa por medio de un diafragma que está presionando contra un vertedero, cuando la válvula se cierra completamente el diafragma de hule sintético o neopreno está sobre el vertedero proporcionando un cierre muy efectivo.

Aquí los materiales sólidos del fluido no forman depósitos ni interfieren al flujo, por lo que se utilizan en líquidos viscosos y sustancias corrosivas.

### EMPAQUES:

La función esencial de un empaque es impedir escapes y escurremientos.

Para la selección de un empaque se estudian los siguientes tres puntos:

1.—CARACTERISTICAS DE LA JUNTA. Como son el material de que está formado y las dimensiones que por supuesto son función del tamaño de la brida.

2.—CONDICIONES DE OPERACION: Son la presión, la temperatura, la clase de fluido (corrosivos o no-corrosivos) los que influyen principalmente para la selección de los empaques.

Hay tres tipos de empaques, los No-Metálicos, que soportan temperaturas hasta de 250°F, los semi-metálicos fabricados de asbestos comprimidos y recubiertos parcial o totalmente de metales que se utilizan hasta 850°F, arriba de esta temperatura los empaques deben ser completamente metálicos.

Generalmente, se usan empaques de 1/16" para bridas ligeras de 150# y de 1/8" para bridas más grandes.

El cálculo de los empaques se hace de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$e = \frac{Q}{2 \times 3.14 \times D_m \times p \times m}$$

- e** : Es el espesor de la pared en (in)  
**Q** : Es la masa en libras.  
**D<sub>m</sub>** : Diámetro medio en in".  
**p** : Presión de trabajo en lb./in<sup>2</sup>  
**m** : factor característico del material.

Existe una gran variedad de materiales para la construcción de los empaques como son el hule, plástico, papel comprimido, asbestos, corcho, etc.

## B R I D A S .

Las bridas existentes en el mercado van desde 1/2" hasta 24", ya mayores a este diámetro son especiales, fabricándose para soportar diferentes presiones de trabajo, a la más ligera es la de 150#, luego aparecen las más pesadas que son las de 300, 400, 600, 900, 1500 y 2,500 lb./in<sup>2</sup>.

**BRIDAS DE CUELLO SOLDABLE:** Esta es la brida más ampliamente usada, ya que es la menos costosa siendo además de mayor resistencia que las otras.

"Deslizante" ó "SLIP-ON"

Esta también es relativamente barata pero sólo se recomienda para condiciones moderadas de trabajo.

"BRIDAS DE TRASLAPE" ó "LAP JOINT".

La ventaja de éstas bridas es que se fabrican en aleaciones y metales No-Ferrosos para fluidos no corrosivos.

### BRIDA CIEGA

Estas sólo se usan para cerrar líneas cuando no entran en servicio y para tapar "Accesos" en equipo grande.

Hay otro tipo de brida que es muy semejante a la "Deslizante" sólo que ésta (Socked Welding) la tubería va soldada a la brida en la parte exterior y en la "Deslizante" la tubería entra en la brida y se solda en donde acaba ésta.

Otra particularidad de las bridas es que se presentan dos tipos de caras la plana y realzada (race face), ésta última consiste en una pestaña circular que va a servir de soporte al empaque.

## b) CARACTERISTICAS DEL TRABAJO.

En el diseño<sup>o</sup> de las instalaciones industriales es de gran importancia la preparación de diagramas a fin de ilustrar y reflejar su diseño fundamental.

Antes de empezar con el diseño detallado de la planta, es necesario hacer el Diagrama de Bloques el que se representa por cuadros, siendo cada uno de éstos una operación unitaria, además se conectan por flechas para indicar el sentido del flujo.

Es ventajoso en algunos casos incluir en el diagrama de tubería completa cabezales, entronques, derivaciones para todos los servicios auxiliares (aire, agua, vapor, petróleo, combustible, etc.). Sin embargo, cuando el proceso es muy amplio y complejo, es aconsejable mostrar los circuitos auxiliares en dibujos separados.

Los diagramas deben mostrar toda la tubería tanto la de proceso como la auxiliar, incluyendo venteos, drenajes, trampas, tomas para muestreo, líneas de alivio, instrumentos y derivaciones, sin embargo, en otras ocasiones el trabajo se simplifica si se separan en diferentes planos, ya que la claridad, exactitud y utilidad es el principal criterio para buenos diagramas.

Para la construcción de instalaciones industriales, se utilizan dos clases de planos:

- a) PLANTAS o vistas a diferentes alturas.
- b) ELEVACIONES que son cortes laterales.

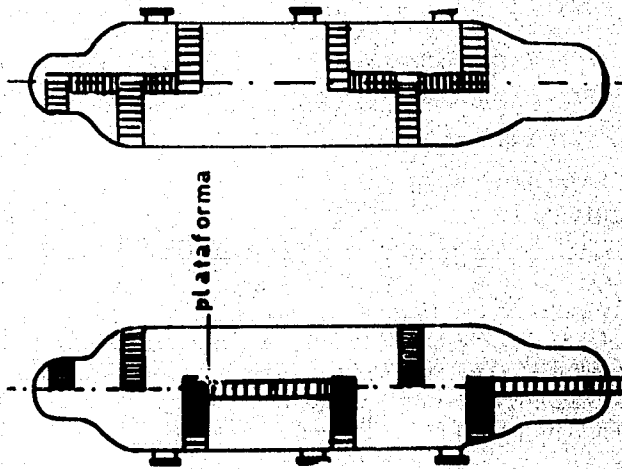
Con estos dos tipos de planos se puede seguir cualquier línea y representarla para su mayor comprensión en Dibujo Isométrico más detallado.

Las tuberías hasta de 6" se acostumbra representarlas por líneas sencillas y mayores de 8" por línea doble.

Al diseñarse un sistema de tuberías para una torre u otra clase de equipo deberán tomarse en cuenta los siguientes puntos:

- 1.—La colocación de escaleras y plataformas así como la orientación de los "Accesos" o "Manholes".
- 2.—Cálculo del diámetro, espesor de pared y clase de tubería.
- 3.—Hacer los diferentes diagramas y planos, tales como el Diagrama de Flujo, una planta general, planos de plataformas, escaleras, accesos y principales instrumentos.

Lo primero que se orienta son los "Accesos" que deben estar dirigidos hacia el camino o paso para tener fácil acceso cuando tenga que efectuarse alguna reparación o con propósitos de limpieza y



Vista A-A

Vista B-B

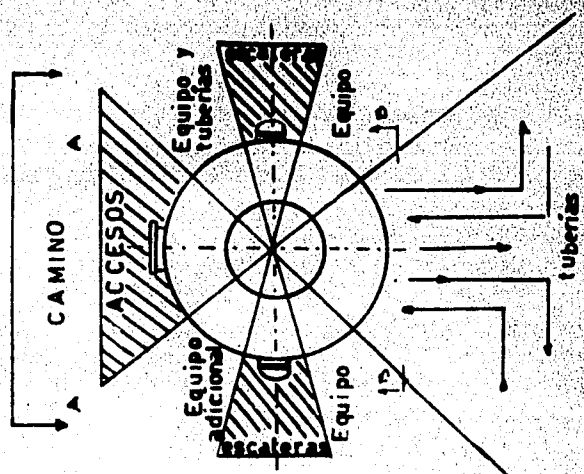


DIAGRAMA N.º 1
ESCALERAS, PLATAFORMAS
ACCESOS
XAVIER GARZA
TESIS
1961



mantenimiento. La elevación de los ACCESOS así como las "Borquillas" de alimentación y descarga son determinados por el cálculo de la torre.

Para el diseño de tuberías es de gran importancia la simplicidad de éstas, y de ser posible deberán ir en línea recta y correr paralelas unas con otras.

En líneas que transportan líquidos densos es conveniente instalar pieza "TE" con taponés y colocadas en lugares estratégicos para poder limpiar la línea.

Para líneas de vapor no son convenientes diámetros menores de 1/2", siendo deseable que tengan una ligera pendiente hacia el lugar de consumo con el objeto de que si hay condensado éste escurra antes y no perjudique la operación.

En los extremos de líneas grandes que transportan vapor saturado se instalan trampas y luego a intervalos aproximadamente a cada 90 ft., y ya cerca del equipo a que esté destinado.

En los puntos de disminución de diámetro deben usarse preferentemente Reducciones Excéntricas con lo que se impide la acumulación de agua condensada.

Los instrumentos de medición deben ir colocados en lugares visibles, de preferencia cerca de las válvulas, para que el operador que las manipula, pueda observar los cambios que se efectúan.

En torres muy grandes los instrumentos estarán colocados de tal manera que no obstruyan el paso y además deberán estar de tal modo que puedan ser vistos desde la plataforma o escalera más cercana.

## **TENDIDO Y ARREGLO DE LA TUBERIA.**

Para el tendido de la tubería en una planta se deben tener en cuenta, principalmente, seis factores que son:

### **1.—REQUERIMIENTOS DEL PROCESO:**

El estudio de una instalación de tuberías mostrará que todas las líneas están colocadas de una manera definida, cambiando de dirección con codos de 90°; ya sea en el mismo o en diferente plano.

Cuando varias líneas están dirigidas a diferentes secciones de la planta, es esencial que deban estar arregladas ordenadamente, ya que si se siguiera una dirección que a primera vista pareciera la más corta se crearía una serie de confusiones y arreglos impracticables.

Si se efectúa una alineación comenzando por el equipo, bombas, cambiadores de calor, etc., se simplificarán sistemas, controles y disminuirán los costos.

En los conjuntos de líneas ya algo numerosos, se procura que tengan una misma elevación las líneas que van en dirección Norte-Sur y otra elevación las que van en dirección Este-Oeste.

## 2.—TRANSMISION DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES.

La vibración en tuberías es frecuente cuando están conectadas a máquinas de alta velocidad como compresoras, bombas, etc.

La eliminación de vibraciones y esfuerzos se logra con juntas de expansión, como no siempre se pueden colocar o son bastante costosas, se recurre a soportes y sistemas de anclaje, o a los diferentes soportes que existen como son zapatas, ménsulas, marcos, soportes colgantes, etc.

## 3.—EXPANSIONES.

Este otro tipo de esfuerzo es el resultado de cambios bruscos en la temperatura, llegando a ser de magnitud considerable. Cuando el movimiento libre de la línea es muy restringido las juntas y uniones están expuestas a dichos esfuerzos, ocasionando empujes y movimientos contra los soportes de las líneas que transportan líquidos a altas temperaturas.

Para proveer a la línea de movimiento y flexibilidad y así disminuir las expansiones se recurre a dos métodos, uno por medio de juntas de expansión y el otro por medio de cambios en la dirección o forma de la línea (piezas en forma de omega o lazos).

Entre las juntas más económicas están las de tubería corrugada con terminales bridadas, además casi no requieren mantenimiento, se instalan en espacios reducidos y tienen gran flexibilidad.

Otra forma de prevenir expansiones es el uso de codos o tubería corrugada aunque son muy poco usados.

Para la selección del método requerido hay que hacer un cuidadoso análisis de esfuerzos, siendo éste uno de los grandes problemas de la industria de proceso.

## 4.—ACCESIBILIDAD.

Las válvulas y demás accesorios que se usan en la industria requieren un mantenimiento periódico por lo que deben ser localizados en lugares convenientes.

Como ejemplo, en una línea que va a 6 ft. de altura y tiene una válvula, se hacen girar brida y válvula a 90° ó 180°, para que pueda ser manipulada sin necesidad de escalera, pero si estuviera a una de 8 ft., entonces se utilizarían cadenas para su movimiento.

## 5.—MANTENIMIENTO Y REPARACION.

Este es el menos importante, ya que sólo son frecuentes en líneas que transportan fluidos corrosivos, problema que se soluciona un poco con el uso de aceros inoxidables que dan mayor vida al equipo.

## 6.—ECONOMICO.

Este es el factor quizá más importante, recomendándose sólo colocar los accesorios indispensables y los soportes de las tuberías a la menor distancia posible.

Aunque el costo de la tubería depende de la longitud, tamaño, espesor de pared y clase de tubería, suelen emplearse diámetros mayores ya que así permiten mayores flujos en caso de ampliación o cambios en la operación.

### **CAPITULO III**

- a) **Descripción del proceso.**
- b) **Diagramas.**
- c) **Balance de material.**

## a) DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso T. C. C. (Thermofor Catalitic Cracking) es el tratamiento de los residuos de la destilación primaria formada por hidrocarburos pesados de peso molecular muy elevado que al desintegrarse, ocasionan la formación de moléculas más pequeñas que se combinan para formar gasolinas, lubricantes, aceites, etc.

Esta planta consta de tres secciones que son:

- a) PREPARADORA DE CARGA: que es precisamente de la que nos ocuparemos más adelante.
- b) SECCION CATALITICA.

Esta es la sección donde se encuentra el reactor que pone en contacto el residuo de la destilación primaria después de ser sometido a un tratamiento con un catalizador de Silicato de Aluminio sintético en forma de esfera.

En este reactor se efectúa la desintegración de los hidrocarburos por medio de altas temperaturas y acelerándose catalíticamente las reacciones.

La temperatura de salida del catalizador es aproximadamente de 1700°F., como consecuencia de la desintegración hay gran formación de carbón que queda adherido al catalizador, reduciendo su actividad y tiene que ser regenerado al pasar por un horno en donde circula aire a altas temperaturas.

El equipo está formado fundamentalmente por: "EL REACTOR", "EL REGENERADOR" y el sistema para mover el catalizador en forma continua, desde la "Olla de Levantamiento" hasta las tolvas en la parte más alta de la torre.

El regenerador que está recibiendo el catalizador se encuentra abajo del reactor, así puede salir por gravedad el catalizador regenerando hasta la zona de enfriamiento que actúa como una columna ya que el enfriamiento se hace con agua, de aquí sale el catalizador también por gravedad y va a dar a la "Olla de Levantamiento" que

es un recipiente que recibe aire a alta presión elevando el catalizador ya a la temperatura apropiada hasta la tolva superior, para pasar al reactor y empezar un nuevo ciclo.

### c) SECCION DE FRACCIONACION:

Todos los gases formados durante la desintegración pasan a una torre de rectificación.

Es en esta sección donde se condensan y separan los diferentes productos, pero lo más sobresaliente de aquí, es la recuperación del calor que traen dichos productos y que se emplean en la generación de vapor.

Los productos de la torre son los siguientes:

- 1.—Corriente de gases que se usa más adelante en la sección de Polimerización.
- 2.—Gasolina de alto octano.
- 3.—Gasóleo ligero.
- 4.—Aceite de recirculación.
- 5.—Parte de los fondos que se utilizan para la preparación de combustóleos.

## P R E P A R A D O R A   D E   C A R G A

El residuo de la destilación primaria que sale aproximadamente a 510°F, pasa a un calentador, a la salida de aquí tiene cerca de 700°F, que es la temperatura a que trabaja la Torre Separadora de Alquitranses, de la que se obtienen dos productos, uno líquido y otro gaseoso, éste forma lo que llaman "Carga Gaseosa" y el producto líquido pasa a la "Torre de Alto Vacío", previamente calentado a 750°F, en unos cambiadores de calor que están recibiendo también los fondos de la Torre de Alto Vacío.

La torre se puede dividir en tres secciones: La Zona de Flash que está en la parte inferior y que actúa como un separador, la parte media que actúa como una fraccionadora y la parte superior como condensador.

En la zona de Flash la temperatura que hay es de 750° F y el vacío que existe es de 41 mm de Hg., que es el vacío óptimo a que se puede trabajar, aunque han llegado a vacíos de milésimas de pulgada, éstos no son económicos.

Regresando otra vez a la Torre Separadora de Alquitranses, se tenía que el producto líquido o "Crudo Reducido" después de sufrir un calentamiento entraba a la Torre de Alto Vacío donde es flashado, los vapores son ayudados a subir por medio de vapor de arrastre, condensando primero el Gasóleo Pesado que sale a la alta-

ra del plato No. 6, como la cantidad que se descarga en bastante grande, hay que colocar dos boquillas de salidas diametralmente opuestas.

El gasóleo ligero es condensado a la altura del plato No. 9, además de estas boquillas de descarga existen otras dos, la primera está colocada abajo del plato 6 en donde sale un producto más denso que el Gasóleo Pesado, la segunda está colocada arriba del plato No. 9, para condensar hidrocarburos más ligeros, estas dos corrientes reciben los nombres de Reflujo Circulante Pesado y Reflujo Circulante Ligero respectivamente.

Estas dos corrientes al salir intercambian calor con agua que va a una caldera y ya más frías entran y condensan los gasóleos, pero el objeto principal es mantener un balance de calor en la torre.

Los hidrocarburos que no lograron condensar son arrastrados por la corriente que forman los eyectores que efectúan el vacío en la torre, así los productos que salen por la parte superior son los hidrocarburos volátiles, el vapor que entra a la Zona de flash que sirve de arrastre, el vapor que se alimenta al domo para evitar que condensen dichos hidrocarburos.

Para efectuar el vacío se hace con un sistema de dos eyectores de vapor, que transportan dicho vapor a la cámara de succión, así todos los gases pasan a un condensador barométrico en el cual todo el condensado sale por gravedad, todo el vapor que no alcanzó a condensar pasa a otro sistema de dos condensadores en serie.

El tiempo de residencia en el interior de la torre del crudo reducido debe ser mínimo de no ser así podría ocurrir un rompimiento de moléculas, para evitar esto el diámetro de la torre es disminuido en la parte inferior, aumentando así la velocidad y en consecuencia el tiempo de residencia es menor.

Un poco arriba de la Zona de Flash hay una malla metálica para alquitranes y metales pesados como el Níquel, Vanadio y Cobre no pasen a los platos superiores y contaminen los gasóleos, pues si llegaran a entrar al reactor atacarían al catalizador de Silice-Aluminio, siendo el límite permisible de 0.1 p.p.m. de metales pesados.

La torre consta de 13 platos, de los cuales los once primeros deben ser de acero inoxidable, de preferencia del tipo A.S.T.M.-316, los dos últimos son de acero al carbón, pues los gases que salen y pasan por éstos platos ya no llevan azufre que es sumamente corrosivo.

El residuo de la torre de alto vacío está formado por Coque, Asfaltos y metales pesados, al salir de aquí intercambian calor con el Crudo Reducido proveniente de la torre separadora de alquitranes.

nes, ya más frío se mezcla con gasóleos con lo que se baja la viscosidad y queda listo para usarse como combustible.

Para el cálculo de la planta que se va a instalar en Salamanca, Gto., se basó en datos provenientes de la refinería 15 de Agosto de México, D. F., que procesa crudo de los Campos de Orizaba y Pánuco, Ver.

PRODUCTO	TEMP. °F	S.G.	Visc SF (30°C)
Crudo Reducido	510	0.91	372"
Gasóleo Pesado	570	0.93	262"
Gasóleo Ligero	380	0.88	150"
Residuo	710	1.05	691"
Carga a la T.A.V.	750	0.97	495"

### BALANCE DE MATERIAL DE LA PREPARADORA DE CARGA

La planta T.C.C. de Salamanca, Gto., fué diseñada para procesar 20,000 barriles diarios de Crudo Reducido.

Basándose en la capacidad de diseño del reactor de la T.C.C. de Minatitlán, Ver., se encontró que de un 28 a un 30% se alimenta como Garga Gaseosa, y el resto, o sea el 70% va a la Torre de Añe Vacío, de esta cantidad el 25% se elimina como asfalto y Coque del fondo de la Torre de A.V.

Con éstos datos se construyó el Diagrama de Cuadros (1) que da una mejor idea de cómo funciona la Preparadora de Carga.

El Balance de material se hace en Gal./min. de cada producto, pues para la determinación del diámetro de las tuberías por el método de Lamers y Otis, está basado en esas unidades.

**T A B L A I**

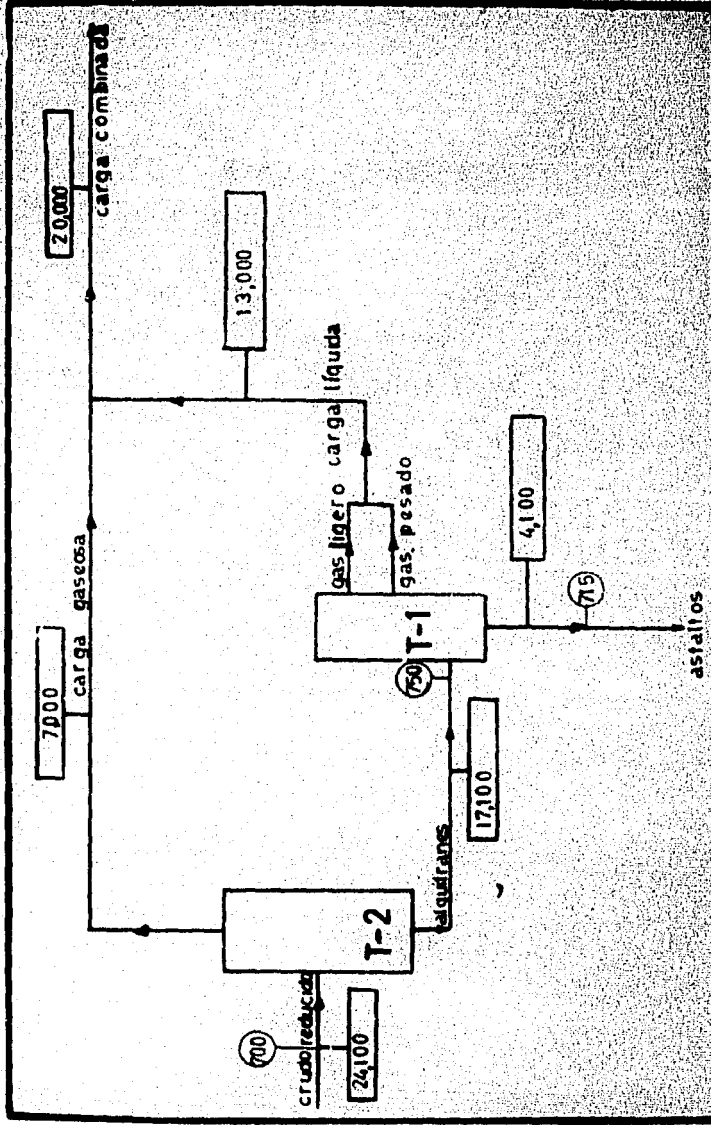
#### ENTRADAS

Crudo Reducido . . . . .	500 Gal./min.
Reflujo Circulante Ligero . . . . .	10 Gal./min.
Reflujo Circulante Pesado . . . . .	40 Gal./min.
Total . . . . .	550 Gal./min.

#### S A L I D A S

Gasóleo Pesado . . . . .	190 Gal./min.
Gasóleo Ligero . . . . .	120 Gal./min.
Reflujo Circulante Ligero . . . . .	15 Gal./min.
Reflujo Circulante Pesado . . . . .	100 Gal./min.
Residuo . . . . .	120 Gal./min.
Hidrocarburos Volátiles (Por diferencia) . . . . .	5 Gal./min.
Total . . . . .	550 Gal./min.





**DIAGRAMA BLOQUES**  
 PREPARADA DE CARGA  
**TESIS**  
 TAVIER

Flujo en barriles/día

Temp °F

T-1 TORNE AL ALTO VACIO

T-2 TORNE SEPARACION DE ALQUITRANES

## **CAPITULO IV**

- a) **Clasificación de las principales líneas.**
- b) **Alimentación y descarga.**
- c) **Reflujo Circulante líneas de vapor.**

#### IV.—CLASIFICACION DE LAS PRINCIPALES LINEAS.

El primer paso es hacer una lista de todos los productos, dando una descripción detallada de cada fluido (temperatura, presión, viscosidad, densidad, etc.), éstas listas deben describir además los accesorios, bridas, válvulas, etc.

Es conveniente crear una nomenclatura para facilitar el trabajo, designando con alguna letra la representación de equipo y otras letras para simbolizar los diferentes fluidos.

Cada casa constructora, cada industria, cada fábrica tienen su propia nomenclatura, por lo que aquí se preparará la siguiente:

- a) Primero se colocará un número que representará el diámetro de la línea en pulgadas.
- b) A continuación se colocará una letra que simbolice un fluido.
- c) y por último, un número ordinal para seguir una secuencia de trabajo, diferenciándose además con este valor cada fluido.

Para este caso particular de la "Preparadora de Carga" tendremos las siguientes líneas:

- A — Alimentación.
- S — Vapor saturado.
- P — Productos.
- V — Vapor recalentado.
- H — Agua de enfriamiento.
- C — Condensado.
- R — Residuo.

Como ejemplo se tiene:

Línea 4 "V-100": En donde 4 es el diámetro de la línea, V significa vapor, 100 será el número característico de dicha corriente y llevará el orden o secuencia que se va a seguir.

## NOTACION PARA EQUIPO

Cierta información esencial debe ser puesta en todo equipo, suministrando de esta manera algunos datos que pueden ser de gran utilidad, así cualquier sistema consistente será satisfactorio.

Toda pieza o accesorio debe ser clasificado y numerado, al este sistema es bien planeado, su ayuda es muy grande en los diferentes planos y diagramas, así como en todas las fases de diseño y trabajos de construcción.

Los símbolos para representar el equipo y demás accesorios para ésta planta son los siguientes:

T-1	:	Torre de alto vacío.
T-2	:	Torre separadora de alquitranes.
E-1	:	Eyector primario.
E-2	:	Eyector primario.
E-3	:	Eyector secundario.
E-4	:	Eyector secundario.
E-5	:	Eyector secundario.
CO-1	:	Condensador barométrico primario.
CO-2	:	Condensador secundario No. 2.
CO-3	:	Condensador secundario No. 3.
CP	:	Compresoras.
CA	:	Cambiadores de calor.
RC	:	Recalentadores.
H	:	Calentadores.
B	:	Bombas.
PF	:	Reactores.
TA	:	Tanque de almacenamiento.

Con el objeto de facilitar la localización de las líneas, evitar repeticiones, simplicidad del trabajo y clasificación de las líneas se hizo la Tabla No. II.

### T A B L A I I I

- 1.—A-100: Línea de alimentación del Crudo Reducido.
- 2.—A-101: Línea de alimentación de crudo reducido.
- 3.—P-100: Línea de salida del gasóleo pesado.
- 4.—P-101: Línea de salida de gasóleo pesado.
- 5.—P-102: Línea de salida del gasóleo ligero.
- 6.—P-103: Línea de salida del reflujo circulante pesado.
- 7.—P-104: Línea de salida del reflujo circulante ligero.
- 8.—A-102: Línea de entrada del reflujo circulante pesado.
- 9.—A-103: Línea de entrada del reflujo circulante ligero.

- 10.—V-100: Línea de entrada de vapor al domo.
- 11.—V-101: Línea de entrada de vapor a la zona de flash.
- 12.—R-100: Línea de residuo de la torre de A.V.
- 13.—R-101: Línea de residuo de la torre de A.V.
- 14.—H-100: Línea de agua de enfriamiento al CO-1.
- 15.—H-101: Línea de salida del agua del CO-1.
- 16.—H-102: Línea de agua de enfriamiento del CO-2.
- 17.—H-103: Línea de agua de enfriamiento del CO-3.
- 18.—H-104: Línea de salida del agua del CO-2.
- 19.—H-105: Línea de salida del agua del CO-3.
- 20.—C-100: Línea del condensado del CO-1.
- 21.—C-101: Línea del condensado del CO-2.
- 22.—C-102: Línea del condensado del CO-3.
- 23.—V-102: Línea de vapor del eyector secundario.
- 24.—V-103: Línea de vapor del eyector secundario.
- 25.—V-104: Línea de vapor del eyector secundario.

En la TABLA II, no fueron incluidas líneas hasta de 3", que se colocan en el campo para no complicar demasiado el trabajo de taller, las líneas de drenaje, muestreo y venteo generalmente son de 3/4" como mínimo y sólo en casos especiales se usan mayores, las líneas de drenaje que llevan flúidos calientes no deben ser menores de 1-1/2", los manómetros se acostumbra ponerlos en medios coples de 3/4", los termómetros en medios coples que van desde 3/4" hasta 2", ésto es si están colocados en tuberías menores de 8", en diámetros mayores a éste valor se deben poner coples completos.

Los drenajes van colocados en los puntos más bajos y los venteos en puntos altos, con los coples o medios ya mencionados.

Las líneas de 3/8", 1-1/4", 2-1/2", 3-1/2", 4-1/2", 5" y 7" no se usan en ninguna industria.

Frecuentemente se hacen perforaciones en las torres para conexiones futuras de vapor, aire, agua, etc., permaneciendo cerradas mientras no se utilizan.

Todas las líneas mayores de 4" que se hacen en la fábrica deben ser soldadas y las menores de 4" que se hacen en el campo deben ser roscadas.

## **CAPITULO V**

- a) Cálculo del diámetro de las líneas.
- b) Cálculo del espesor de la tubería.
- c) Selección del tipo de tubería.

## V.—CALCULO DEL DIAMETRO DE LAS LINEAS.

Para calcular el diámetro de las tuberías, se hace de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$S = \frac{G}{V}$$

"S": Es la sección de la tubería en ft<sup>2</sup>.

$$S = 0.785 \times D^2$$

G: Es el gasto en ft.<sup>3</sup>/min.

V: Es la velocidad en ft./min.

Así conociendo el gasto y la velocidad se determina la sección y con este valor se calcula el diámetro.

El rango de velocidades permisibles, considerando las pérdidas por fricción oscilan entre los siguientes valores:

Bombas Centrifugas (Descarga) . . . . .	6-12 ft./seg.
Bombas Centrifugas (Succión) . . . . .	0.1-3.0 ft./seg.
Flujo por gravedad . . . . .	0.5-1.0 ft./seg.

En nuestro caso particular sería un trabajo muy fuerte ir tratando con diferentes velocidades hasta llegar a una o varias soluciones, por lo que mejor se seguirá el método propuesto por Langer y Otis', consistiendo en dos gráficas, la primera tiene como ordenadas la densidad del líquido en lb/ft<sup>3</sup>, como parámetro está la velocidad en centipoises, y como abscisas un factor "C" que es función de la caída de presión.

Con este factor "C" se va a una segunda gráfica que tiene como ordenadas el gasto en Gal/min. y como parámetro los diferentes diámetros que existen en el mercado y aún mayores.

Para el cálculo del diámetro para las líneas que transportan gases y vapores se hará de acuerdo con el método propuesto por R.

fer', éste método consiste en dos gráficas que son función de la presión absoluta en lb./in<sup>2</sup>, la temperatura en °F, el peso molecular expresado en libras y el gasto en lb./hr.

En datos de diseño que encontró que el vacío de 42 mm. de Hg. requiere aproximadamente 4,000 lb./hr. de vapor recalentado a 460°F.

## CALCULO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO EN LOS CONDENSADORES.

La cantidad de calor total que hay que quitar a los tres condensadores es  $Q_t$  y se calcula por la siguiente ecuación:

$$Q_t = W_1 \cdot C_p \cdot (t_c - t_w - t_a)$$

$W_1$ , Es la cantidad de agua necesaria para el enfriamiento en Gal./min.

despejando  $W_1$ ,

$$W_1 = \frac{Q_t}{C_p \cdot (t_c - t_w - t_a)}$$

$t_c$  : Es la temperatura de condensación en °F.

$t_w$  : Es la temperatura del agua a la entrada en °F.

$t_a$  : Es el grado de aproximación (5°F)

$C_p$  : Es el calor específico del agua (1)

pero por otro lado se tiene:

$$W_t = W_1 + W_2$$

y de aquí que:

$$W_1 = \frac{q_1}{C_p(t_{c1} - t_w - t_a)}$$

$$W_2 = \frac{q_2}{C_p(t_{c2} - t_w - t_a)}$$

Aquí  $W_1$  : Es la cantidad necesaria para condensar los hidrocarburos volátiles en Gal./min.

$W_2$  : Es la cantidad de agua necesaria para condensar el vapor de agua en Gal./min.

$$q_1 = m_1 \cdot C_p(t_1 - t_c) + m_1 \cdot L_v$$

= 2,000 lb./hr. de hidrocarburos volátiles.

$$t_{c1} = 285^\circ\text{F}$$

$$L_v = 220 \text{ BTU/lb.}$$



$$\begin{aligned} \text{S.G.} &= 0.8 \\ d &= 50 \text{ lb./ft}^3 \\ C_p &= 0.62 \\ t_w &= 90^\circ\text{F} \\ t_n &= 5^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$q_i$  = Calor que hay que quitar a los hidrocarburos volátiles en BTU/hr.

$$q_i = 2,000 \times 0.62 (300 - 285) + 2,000 \times 220 = 460,000 \text{ BTU/hr.}$$

$$q_i = 460,000 \text{ BTU/hr.}$$

$$W_1 = \frac{q_i}{500 (285 - 75)} = \frac{460,000}{500 (210)} \quad W_1 = 44 \text{ Gal/min.}$$

Desde un punto de vista económico toda el agua que entra al CO-1, se usará para enfriar los condensadores CO-2 y CO-3, por lo que se debe tener cuidado que no salga muy caliente del CO-1 el agua de enfriamiento. El ascenso máximo de temperatura será de  $40^\circ\text{F}$  c sea, que saldrá a  $110^\circ\text{F}$ .

Cantidad de calor que hay que quitar al vapor de agua:

$$q_v = m_2 \cdot C_{p2} (t_2 - t_{c2}) + m_2 \cdot L_2$$

$$\begin{aligned} m_2 &= 4,400 \text{ lb/hr.} \\ C_{p2} &= 0.45 \\ t_2 &= 240^\circ\text{F} \\ t_{c2} &= 230^\circ\text{F} \\ L_2 &= 1,000 \text{ BTU/hr.} \end{aligned}$$

$$q_v = 4,400 \times 0.45 (240 - 230) + 4,400 \times 1000$$

$$q_v = 4,470,000 \text{ BTU/hr.}$$

pero tenemos que:

$$Q_t = q_i + q_v = 460,000 + 4,470,000$$

$$Q_t = 4,930,000 \text{ BTU/hr.}$$

### **CALCULO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO PARA CONDENSAR TODO EL VAPOR DE AGUA.**

$$W_2 = \frac{q_v}{500(t_w - t_n)} \quad W_2 = \frac{4,470,000}{500(230 - 75)} = 58 \text{ gal/min.}$$

$$\text{como: } W_t = W_1 + W_2$$

$$W_t = 44 + 58 = 102 \text{ Gal./min.}$$

Con estos valores se determina el diámetro de la línea de agua de enfriamiento, se va a suponer que los hidrocarburos van a condensar en el CO-1 y una buena parte de vapor de agua.

Como son tres condensadores se tiene:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad \text{y} \quad Q_1 = q_1 + q_2$$

$Q_1$  : Es el calor quitado al condensador CO-1  
 $Q_2$  : Es el calor quitado al condensador CO-2  
 $Q_3$  : Es el calor quitado al condensador CO-3

Falta por calcular  $q_2$  o sea el calor que hay que quitar al vapor de agua en el CO-1, para ésto hay que recurrir a un balance de calor y estimar lo siguiente : "EL CALOR QUE GANA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO ES IGUAL A EL CALOR QUE PIERDE EL VAPOR" o sea

$$q_2 = q_a$$

$$q_2 = 58 \times 500 (120-70)$$

$$q_2 = 1,500,000 \text{ BTU/hr}$$

$$q_a = W_2 \times (t_s - t_e)$$

$t_s$  : Es la temperatura de salida del agua.  
 $t_e$  : Es la temperatura de entrada del agua.

como :  $Q_1 = q_1 + q_2$   
 tenemos :  $Q_1 = 460,000 + 1,500,000$   
 $Q_1 = 1,960,000 \text{ BTU/hr}$

Con éstos valores se hicieron cálculos para la temperatura de salida del agua en los condensadores CO-2 y CO-3 en la que se observó que era sumamente alta, por lo que se decidió aumentar la cantidad de agua de 102 a 160 gal./min. con lo que se llegan a los siguientes resultados.

$$q_1 = (160-44) \times 500 (110-70)$$

$$q_1 = 2,300,000 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q_1 = 460,000 + 2,300,000 = 2,760,000 \text{ BTU/hr.}$$

#### CALCULO DE LA LINEA DE CONDENSADO EN EL CO-1

$$G_1 = \frac{W_1 \times (t_s - t_e) \times 500}{h}$$

$$G_1 = \frac{160(110-70)500}{77}$$

$$G_1 = 41,500 \text{ lb./hr.}$$

$$\frac{41,500}{500} = 83 \text{ gal./min.}$$

$G_c =$  lb./hr. de condensado.  
 $W_c =$  Agua de enfriamiento en Gal./min.  
 $h =$  Cantidad de calor en BTU/lb.°

$$500 = \frac{60 \text{ min.}}{1 \text{ hr.}} \times 62.3 \text{ lb./ft}^3 \times \frac{1 \text{ ft}^3}{7.48 \text{ Gal.}}$$

Con éste valor se determina un valor de 8" para la línea de condensado en el CO-1.

### CALCULO DE LA LINEA DE CONDENSADO DEL CO-2 Y DEL CO-3

Como no se sabe a qué temperatura sale el agua de enfriamiento de los condensadores CO-2 y CO-3, se tendrá que hacer un sistema de ecuaciones y después lograr que la temperatura del agua a la salida de cada condensador sea más o menos igual para que no vaya a subir demasiado en un condensador y en el otro salga muy fría.

$$1. - Q_2 = m_2 C_p (t_2 - t_c)$$

$$2. - Q_3 = m_3 C_p (t_3 - t_c)$$

Sumando tenemos:

$$Q_2 + Q_3 = m_2 (t_2 - t_c) + m_3 (t_3 - t_c)$$

$$Q_2 + Q_3 = m_2 \times t_2 - m_2 \times t_c + m_3 \times t_3 - m_3 \times t_c$$

Si:  $Q_t = Q_2 + Q_3$

$t_2$  : Es la temp. de salida del agua en el CO-2.  
 $t_3$  : Es la temp. de salida del agua en el CO-3.

despejando  $Q_2 + Q_3$  tenemos:

$$Q_2 + Q_3 = Q_t - Q_c = 4,930,000 - 2,760,000$$

$$Q_2 + Q_3 = 2,170,000 \text{ BTU/hr.}$$

$$m_2 = 90 \text{ Gal./min.}$$

$$m_3 = 70 \text{ Gal./min.}$$

substituyendo:

$$2,170,000 = 90 \times 500(t_2 - 110) + 70 \times 500(t_3 - 110)$$

$$2,170,000 = 45,000 t_2 - 45,000 \times 110 + 35,000 t_3 - 35,000 \times 110$$

simplificando:  $11,970,000 = 45,000 t_2 + 35,000 t_3$

dividiendo entre 35,000:  $340 = 128 t_2 + t_3$

Habrá que tancar con estas temperaturas hasta que salgan aproximadamente igual:

$$\text{Si } t_2 = 150^\circ\text{F} \quad \therefore \quad t_3 = 148^\circ\text{F}$$

$$\text{Si } t_2 = 149^\circ\text{F} \quad \therefore \quad t_3 = 149^\circ\text{F}$$

Conociendo la temperatura de salida del agua de enfriamiento ya podemos calcular la línea de condensado.

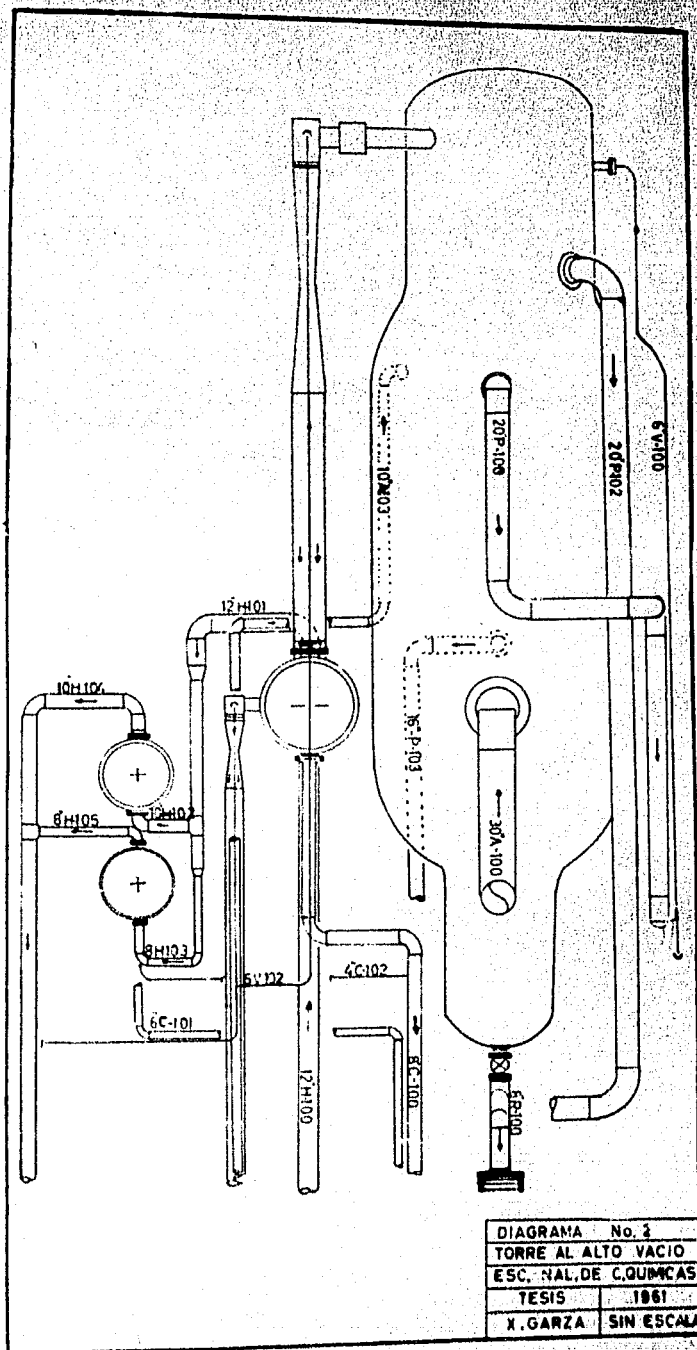


DIAGRAMA No. 2	
TORRE AL ALTO VACIO	
ESC. NAL. DE GUMBRAS	
TESIS	1961
X. GARZA	SIN ESCALA

$$Q_1 = W_1 \times C_p(t_1 - t_2)$$

$$Q_1 = 90 \times 500(149-110)$$

$$Q_1 = 1,260,000 \text{ BTU/hr. } \therefore G_1 = \frac{90(149-110)}{120} = 28 \text{ Gal./min.}$$

Con éste valor se determina un diámetro de 6" para la línea de condensación del CO-2.

$$Q_2 = W_2 \times C_p(t_1 - t_2)$$

$$Q_2 = 70 \times 500(149-110)$$

$$Q_2 = 1,370,000 \text{ BTU/hr. } \therefore G_2 = \frac{70(149-110)}{120} = 21 \text{ Gal./min.}$$

Con éste resultado se lee un diámetro de 4" para la línea de condensado del CO-3.

T A B L A I I I

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
LINEA	Producto	Flujo Gal/m <sup>3</sup> n	Temp. °F	S.G.	Dens. lb/ft <sup>3</sup>	Visc. S.F.(50°C)	cps	Factor C	Dia. in	Clase
A-100	Crud. Red.	250	750	0.97	60.5	495"	108	0.52	30"	Con Cost.
A-101	Crud. Red.	250	750	0.97	60.5	495"	108	0.52	30"	Con Cost.
A-102	Ref. C.L.E.	10	260	0.85	53.0	170"	38	0.88	6"	Sin Cost.
A-103	Ref. C.P.E.	40	470	0.90	59.0	270"	59	0.7	10"	Sin Cost.
P-100	Gas. Pes. S.	95	575	0.92	57.0	262"	68	0.65	20"	Con Cost.
P-101	Gas. Pes. S.	95	575	0.92	57.0	262"	68	0.65	20"	Con Cost.
P-102	Gas. Lig. S.	120	380	0.88	55.0	180"	30	0.80	20"	Con Cost.
P-103	Ref. C.P.S.	100	700	0.91	59.0	270"	59	0.70	16"	Con Cost.
P-104	Ref. C.L.S.	15	370	0.85	53.0	170"	38	0.88	6"	Sin Cost.
R-100	Residuo	60	715	1.05	66.0	691"	150	0.55	8"	Sin Cost.
R-101	Residuo	60	715	1.05	66.0	691"	150	0.55	8"	Sin Cost.
H-100	Agua ECO-1	160	70	1.00	62.3	—	0.88	1.7	12"	Sin Cost.
H-101	Agua S-CO-1	160	110	0.98	62.0	—	0.80	1.0	12"	Sin Cost.
H-102	Agua E.CO-2	90	110	0.98	62.0	—	0.8	1.0	10"	Sin Cost.
H-103	Agua E.CO-3	70	110	0.98	62.0	—	0.8	1.0	8"	Sin Cost.
H-104	Agua Sal.CO-2	90	149	0.96	61.9	—	0.8	1.0	10"	Sin Cost.
H-105	Agua Sal.CO-3	70	149	0.96	61.9	—	0.8	1.0	8"	Sin Cost.
C-100	Condens. CO-1	83	218	—	60.0	—	0.76	0.5	8"	Sin Cost.
C-101	Condens. CO-2	28	218	—	60.0	—	0.76	0.5	6"	Sin Cost.
C-102	Condens. CO-3	21	218	—	60.0	—	0.76	0.5	4"	Sin Cost.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
LINEA	PRODUCTO	FLUJO lb/hr	TEMP. °F	PRESION #	P.M. (lb)	DIAMETRO in
V-100	Vapor	200	450	250	18	6"
V-101	Vapor	180	600	300	18	4"
V-102	Vapor	180	450	300	18	4"
V-103	Vapor	180	450	300	18	4"
V-104	Vapor	180	450	300	18	4"

### c) SELECCION DE LA TUBERIA.

Falta por determinar la clase de tubería que se va a emplear, y el espesor de la pared de las líneas. Esta selección se hará según las especificaciones A.S.T.M. (American Society Test Materials), principalmente las siguientes.

**A.S.T.M. A-53-44:** Es tubería de acero al carbón, para usos generales, sin poder transportar fluidos corrosivos.

**A.S.T.M. A-53:** Es tubería de acero al carbón, para transporte de líquidos poco corrosivos, temperaturas menores de 600°F y un esfuerzo máximo tolerable de 6,600 lb./in<sup>2</sup> (S)

**A.S.T.M. A-206:** Tubería de acero con 5% de Cr. y 0.5 de Mo., puede transportar líquidos más corrosivos a temperaturas menores de 800°F y un valor de "S" de 10,000 lb./in<sup>2</sup>.

**A.S.T.M. A-134:** Tubería de acero con 4.0% de Cr. y 0.5% de Mo., resiste a los fluidos poco corrosivos hasta 800°F pudiendo usarse en líneas grandes (30") y aún mayores y tiene un valor de "S" de 13,800 #.

**A.S.T.M. A-158:** Tuberías de acero inoxidable con 6.0% de Cr. y 0.5% de Mo., puede transportar líquidos bastante corrosivos, con azufre nativo inclusive hasta temperaturas de 900°F, y un valor de "S" de 11,400 #.

**A.S.T.M. A-120:** Tubería que puede ser negra o galvanizada para usos ordinarios como transporte de agua, vapor a baja presión y condensados a temperaturas menores de 480°F y un valor de "S" de 7,000 #.

**A.S.T.M. A-135:** Tubería de acero que se construye hasta 30" de Diámetro pudiendo transportar líquidos, gases y vapores a temperaturas de 450°F y un valor de "S" de 9,000 lb./in<sup>2</sup>.

**A.S.T.M. A-139:** Tubería de acero, reforzada con costura en tamaños de 8" a 30" de diámetro, transportando líquidos y gases a condiciones moderadas de presión y temperatura y un valor de "S" de 9,000 lb. in<sup>2</sup>.

Así se podría seguir hasta las noventa y tantas clasificaciones que tiene la A.S.T.M., pero se saldría de tema hablar de tuberías que no van a ser utilizadas en la Preparadora de Carga.

El espesor de la pared se calcula por la ecuación siguiente:

$$e = \frac{DE}{2} \left( 1 - \left( \frac{S-P}{S+P} \right)^h \right) + 0.065$$

TABLE IV

(1) Línea	(2) Especificación A.S.T.M.	(3) S#	(4) P#	(5) DE — 2	(6) (S-P/S+P)%	(7) 1-(6)	(8) (57)x(7)	(9) e(in)	(10) Cód. de
30"A-100	A-206	13,800	150	15 "	0.99	0.01	0.15	0.31	10
30"A-101	A-206	13,800	150	15 "	0.99	0.01	0.15	0.31	10
6"A-102	A-53	6,600	350	3.31	0.80	0.20	0.26	0.28	40
10"A-103	A-53	6,600	300	5.75	0.96	0.04	0.21	0.28	40
20"P-100	A-53	6,600	200	10 "	0.97	0.03	0.300	0.375	20
20"P-101	A-53	6,600	200	10 "	0.97	0.03	0.300	0.375	20
20"P-102	A-53	6,600	200	10 "	0.97	0.03	0.30	0.375	20
16"P-103	A-158	15,100	450	8 "	0.96	0.04	0.32	0.375	30
6"P-104	A-53	6,600	350	3.31	0.80	0.20	0.26	0.28	40
8"R-100	A-158	11,400	450	4.31	0.95	0.05	0.218	0.322	40
8"R-101	A-158	11,400	450	4.31	0.95	0.05	0.218	0.322	40
12"H-100	A-120	10,000	350	6.37	0.96	0.04	0.25	0.330	30
12"H-101	A-120	10,000	350	6.37	0.96	0.04	0.25	0.330	30
10"H-102	A-120	7,000	350	5.37	0.954	0.046	0.24	0.365	40
8"H-103	A-120	7,000	380	4.31	0.95	0.05	0.22	0.322	40
10"H-104	A-120	7,000	350	5.37	0.954	0.046	0.24	0.365	40
8"H-105	A-120	7,000	350	4.31	0.95	0.05	0.22	0.322	40
6"V-100	A-120	7,000	450	3.31	0.93	0.07	0.235	0.432	80
4"V-100	A-120	7,000	600	2.25	0.92	0.08	0.18	0.337	80
4"V-102	A-120	7,000	600	2.25	0.92	0.08	0.18	0.337	80
4"V-103	A-120	7,000	600	2.25	0.92	0.08	0.18	0.337	80
4"V-104	A-120	7,000	600	2.25	0.92	0.08	0.18	0.337	80
4"V-105	A-120	7,000	350	4.31	0.95	0.05	0.22	0.322	40
4"V-106	A-120	7,000	350	4.31	0.95	0.05	0.22	0.322	40
4"V-107	A-120	7,000	350	4.31	0.95	0.05	0.22	0.322	40



## CAPITULO VI

- a) Cálculos de los esfuerzos debidos a la presión y a la temperatura.
- b) Cálculo de las distancias mínimas entre soportes de tuberías.

## VI.—CALCULO DE ESFUERZOS.

Falta por determinar si la frecuencia y el tamaño de los resortes (cold spring) que tienen las formas "U", "L" y "Z" se encuentran dentro de los límites permisibles para no dañar ni el equipo, ni los soportes con las expansiones que sufre la tubería causada por la presión y la temperatura.

Para ésto hay que dividir cada línea en varios tramos o secciones con las formas "L", "U" y "Z". La primera está formada por dos ramas, la (H) y la (w), las secciones "U" y "Z" constan de tres ramas, la (H), la (w) y la (h), desde luego habrá ocasiones en que las ramas (H) y (h) serán iguales.

La forma de cada una de éstas secciones influye mucho en los esfuerzos debidos a la temperatura, para ésto se va a una gráfica en que se determina un factor de forma.<sup>5</sup>

Toda tubería, recipiente o equipo en general está sujeto a dos clases de esfuerzos principalmente, éstos producen en consecuencia dos expansiones, una debida a presión y otra debida a temperatura, la suma de éstos dos esfuerzos da el esfuerzo total.

El cálculo del esfuerzo debido a la temperatura se hace de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$S_t = \frac{f_e(\text{max}) - f_e(\text{min}) \cdot f \cdot D \cdot f_s}{L_t}$$

$S_t$ : Es el esfuerzo debido a la temperatura, en lb./in<sup>2</sup>.

$f_e(\text{max})$ : Es el factor de expansión a la temperatura más alta.

$f_e(\text{min})$ : Es el factor de expansión a la temperatura más baja.

Estos factores de expansión\* son función de la clase de la tubería y por supuesto de la temperatura.

"i" es el factor de Intensificación de esfuerzo, es función del grado de curvatura y de la rigidez de la tubería o en otras palabras,

\*  $f_e$  representa una integración del producto del módulo de elasticidad y un factor unitario entre los límites 0°F y la temperatura de operación. (Estos valores fueron calculados por Tapsell y Orrok).

es función directa del diámetro e inversamente proporcional al espesor de la pared.

$f_s$ : Es el factor de forma\* y es función de la longitud de cada rama.

$L_r$ : Es la longitud virtual o sea la suma de la tubería más la longitud equivalente de los codos:

$$L_r = L + 1_e(n)$$

n: es el número de codos.

Y por último "D" es el diámetro.

El cálculo del esfuerzo debida a la presión se hace de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$S_p = \frac{P r}{2t} = \frac{P ID}{4 t}$$

P : Es la presión de trabajo en lb/in<sup>2</sup>

r : Es el radio en in.

t : Es el espesor de la pared en in.

ID. : Es el diámetro interno en in.

$S_p$  : Es el esfuerzo debido a la presión.

\* El Factor de forma  $f_s$  se lee en las gráficas (11) y (12) del "Tube turn Piping Flexibility" con las relaciones  $h/H$  y  $H/w$ .

El cálculo de los esfuerzos debidos a la presión se encuentran en la TABLA V

T A B L A V

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
LINEA	ID (in.)	espesor (in)	PIEZAS	PRESION lb/in <sup>2</sup>	S <sub>p</sub> (lb./in <sup>2</sup> )
30"A-100	29.37	0.312	A-B-C	150	3,650
30"A-101	29.37	0.312	A	150	3,650
20"P-100	19.25	0.375	A-B-C	200	2,650
20"P-101	19.25	0.375	A-B-C	200	2,650
20"P-102	19.25	0.375	A-B-C	200	2,650
16"P-103	15.25	0.375	A	450	4,550
10"A-103	10.03	0.365	A-B-	300	2,480
6"P-104	6.06	0.28	A-B	350	1,100
8"R-100	7.98	0.321	A-B-	450	2,700
8"R-101	7.98	0.321	A-B-	450	2,700
6"A-102	6.06	0.28	A-B-C	350	2,480
6"V-100	5.76	0.432	A-B-	450	3,150
4"V-101	3.826	0.337	A	600	1,700
4"V-102	3.826	0.337	A	600	1,700
4"V-103	3.826	0.337	A	600	1,700

TABLA VI

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
LINEA	FORMA	h(ft.)	H(ft.)	w(ft.)	$t_{max}^{\circ}F$	$t_{min}^{\circ}F$	$f_c(\max)$	$f_c(\min)$	(8)-(9)
30"A-100-A	"L"	—	13'	17'	783	70	1,570	120	1,440
30"A-100-B	"U"	9'	48'	9'	783	70	1,570	120	1,440
30"A-100-C	"L"	—	50'	17'	783	70	1,570	120	1,440
30"A-101-A	"L"	—	13'	17'	783	70	1,570	120	1,440
20"P-100-A	"Z"	12'	16'	12'	595	70	1,190	120	1,074
20"P-100-B	"L"	—	18'	25'	595	70	1,190	120	1,074
20"P-101-A	"Z"	12'	16'	12'	595	70	1,190	120	1,074
20"P-102-A	"Z"	20'	18'	25'	405	70	770	120	646
20"P-102-B	"L"	—	20'	3'	405	70	770	120	646
16"P-103-A	"L"	—	14'	5'	735	70	1,500	120	1,376
16"P-103-B	"L"	—	11'	2'	735	70	1,500	120	1,376
10"A-103-A	"Z"	13'	18'	14'	470	70	985	120	861
10"A-103-B	"Z"	20'	30'	25'	470	70	985	120	861
6"P-104-A	"Z"	20'	30'	15'	445	70	980	120	856
6"P-104-B	"Z"	15'	28'	8'	445	70	980	120	856
8"R-100-A	"L"	—	12'	15'	740	70	1,620	120	1,490
8"R-101-A	"L"	—	12'	15'	740	70	1,620	120	1,490
6"A-102-A	"L"	—	30'	3'	260	70	556	120	432
6"A-102-B	"L"	—	40'	10'	260	70	556	120	432
6"V-100-A	"L"	—	30'	2'	400	70	980	120	856
6"V-100-B	"L"	—	60'	5'	400	70	980	120	856
4"V-101-A	"Z"	5'	8'	40'	650	70	771	120	856
4"V-102-A	"Z"	1'	18'	25'	650	70	771	120	356
4"V-103-A	"Z"	1'	18'	25'	650	70	771	120	856
4"V-104-A	"Z"	1'	18'	25'	650	70	771	120	856

T A B L A   V I

(1) LINEA	(11) L <sub>r</sub> (ft)	(12) L <sub>r</sub> (ft)	(13) (i)	(14) (n)	(15) L <sub>c</sub>	(16) l <sub>c</sub>	(17) S <sub>c</sub> #	(18) S(permissible #)	(19) S <sub>r</sub>
30"A-100-A	30'	131'	5.75	1	161	0.7	1,170	13,800	4,820
30"A-100-B	66'	131'	5.75	2	328	2.0	5,000	13,800	8,650
30"A-100-C	67'	131'	5.75	1	198	2.0	2,500	13,800	7,150
30"A-101-A	30'	131'	5.75	1	161	0.7	1,700	13,800	4,820
20"P-100-A	40'	7.7'	3.88	2	194	1.2	515	6,600	3,165
20"P-100-B	43'	7.7'	3.88	1	120	0.69	480	6,600	3,130
20"P-101-A	40'	7.7'	1.2	2	194	1.2	515	6,600	4,800
20"P-102-A	63'	44'	2.88	2	131	4.2	2,150	6,600	4,530
20"P-102-B	23'	44'	2.88	1	67	5.5	1,880	6,600	4,700
16"P-103-A	19'	47'	3.28	1	66	2.0	485	15,100	4,936
16"P-103-B	19'	34'	3.22	1	53	5.0	485	15,100	4,965
10"A-103-A	32'	20'	2.6	2	72	0.92	280	6,600	2,760
10"A-103-B	75'	20'	2.6	2	115	0.92	178	6,600	2,654
6"P-104-A	65'	4.9'	1.58	2	750	1.6	174	11,400	1,360
6"P-104-B	41'	4.9'	1.58	2	50	1.6	260	11,400	1,660
8"R-100-A	27'	14'	2.42	1	41	0.8	560	11,400	3,260
8"R-101-A	27'	14'	2.42	1	41	0.8	560	13,800	3,260
6"A-102-A	33'	9.5'	2.28	1	42.5	12	1,660	13,800	2,790
6"A-102-B	50'	9.5'	2.28	1	59.5	3.5	346	13,800	2,675
6"V-100-A	32'	9.5'	2.28	1	41.5	20	5,050	7,000	3,315
6"V-100-B	65'	9.5'	2.28	1	74.4	1.4	165	7,000	3,315
4"V-101-A	53'	4.7'	1.92	2	62.4	4.0	320	7,000	1,774
4"V-102-A	44'	4.7'	1.92	2	53.4	0.8	74	7,000	1,801
4"V-103-A	40'	4.7'	1.92	2	49.4	1.0	161	7,600	1,813
4"V-104-A	21'	4.7'	1.92	2	30.4	0.7	113	7,000	1,830

## CALCULO DE LAS JUNTAS DE EXPANSION

Para la selección de las juntas de expansión el primer paso es calcular el cambio en la longitud de la tubería el cual ha sido causado por los cambios de temperatura.

Este cálculo se hace a la temperatura máxima y mínima que podría alcanzar el fluido que transporta la línea.

Cada material sufre diferente elongación a una temperatura determinada, existiendo tablas que nos proporcionan esa literatura.<sup>15</sup>

Su cálculo es muy sencillo y sólo a manera de ejemplo se tiene el siguiente: Línea: 4"V-101, temperatura máxima (600°F), longitud de 53 ft., especificación A.S.T.M. A-120,

t ° F°	E	
1.— 60°	0.41 in	E = Elongación
2.— 600°	4.6 in	∴ E <sub>2</sub> - E <sub>1</sub> = 4.6 - 0.41 = 4.19 in

$$\frac{4.19 \times 54}{100} = 2.22 \text{ in}$$

Como se ve se debe usar una junta de expansión de 4(in) de elasticidad en los 53 ft. de tubería, (ya va incluido un factor de seguridad).

### CALCULO DEL CLARO O DISTANCIA MINIMA ENTRE SOPORTES DE TUBERIA.

Otro cálculo muy interesante en el diseño de tuberías es la distancia mínima que separa a los soportes o "Claro", efectuándose dicho cálculo por la siguiente ecuación:

$$L = \left( \frac{S \cdot I}{w \cdot r} \right)^{1/4}$$

L : Es el claro en ft.

S : Es el esfuerzo máximo permisible por la tubería en lb./in<sup>2</sup>.

I : Es el momento de inercia del tubo en (in)<sup>4</sup>.

w : Carga uniforme por unidad de longitud de tubo en lb./ft.

r : Es el diámetro externo del tubo entre dos.(in).

También se puede usar un nomograma basado en esta ecuación<sup>16</sup>, siendo un cálculo sumamente rápido, con esta ecuación se construyó la tabla VII.

TABLE VII

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
LINEA	CED.	I(in')	w(lb/ft)	r(in)	S(#)	w:r	I:S	$\frac{(8)}{(7)}$	L(ft)
30"A-100	10	3,210	200	15	55,000	3,000	$1.7 \times 10^7$	5,900	77
30"A-101	10	3,210	200	15	55,000	3,000	$1.7 \times 10^7$	5,900	77
6"A-102	40	28.1	36.5	3.31	48,000	940	$1.3 \times 10^6$	1,470	39
10"A-103	40	161	69	5.37	48,000	370	$7.7 \times 10^6$	2,080	46
20"P-100	20	1,110	139	10	50,000	1,390	$5.6 \times 10^6$	4,050	63
20"P-101	20	1,110	139	10	50,000	1,390	$5.6 \times 10^6$	4,050	63
20"P-102	20	1,110	139	10	50,000	1,390	$5.6 \times 10^6$	4,050	63
16"P-103	30	562	104	8	60,000	8.32	$3.4 \times 10^7$	4,100	64
6"P-104	40	28.1	36.5	3.31	48,000	940	$1.4 \times 10^6$	1,470	39
8"R-100	40	72.5	55	4.31	30,000	228	$9.2 \times 10^6$	9,600	98
8"R-101	40	72.5	55	4.31	30,000	228	$9.2 \times 10^6$	9,600	98



**CAPITULO VII**  
**CONCLUSIONES.**

## VII. CONCLUSIONES:

Como se podrá observar en la tabla VI, los valores obtenidos de los esfuerzos totales multiplicados por un factor de seguridad de 30% quedan dentro de los límites permisibles.

A últimas fechas en la República Mexicana se están fabricando principalmente por TAMSA, diferentes clases de tubería, pudiéndose adquirir un gran porcentaje de éstas, como son la ASTM A-53, A-134, A-135 y la A-120 e importándose sólo las de acero inoxidable.

Por otro lado en la comparación efectuada para el cálculo del diámetro más económico de J. Perry, éste texto presenta un método nomográfico resultando valores muy bajos con respecto al método de Lamers y Otis.

Para éste método nomográfico no se toman factores de seguridad, ni factores para el caso de futuras ampliaciones, ni operaciones anormales en que circulan mayor cantidad de fluido en las líneas, así como tampoco pérdidas por fricción.

Por lo que se puede concluir que el método de Lamers y Otis es más laborioso y largo, pero más exacto que el método de cálculo del diámetro más económico.

**CAPITULO VIII**  
**BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

- 1.—Petroleum Refiner, Vol. 38, No. 10, p. (127)-32). 1959.
- 2.—Chemical Engineering, No. 21, p. (193-94) Oct. 19-1959.
- 3.—Donald Kern.  
Process Heat Transfer.  
Mc. Graw Hill Book Co., Inc.  
pags. (193-96).  
New York, London.  
1950
- 4.—G.V. Slaw y A.W. Loois  
Cameron Hidraulic Data  
Ingersoll Rand Company, Inc.  
Pags. (163-66).  
New York, Toronto, London.  
1950
- 5.—Tube Turn Piping Flexibility. Cat. p. (221-31)
- 6.—Petroleum Refiner, Vol. 39, No. 10, p. (194-95) 1960.
- 7.—Petroleum Refiner, Vol. 37, No. 3, p. (136-42) 1958
- 8.—Hougen and Watson.  
Chemical Process Principles.  
John Wiley & Sons. Inc.  
Tomo I, Pags. (196-98)  
New York, Toronto, London.  
1950
- 9.—Petroleum Refiner Engineering  
W.L. Nelson  
Mc. Graw Hill Book Company, Inc.  
Pags. (101-05, 165-71, 288-91, 373-74 416-20)  
New York, London.  
1948

- 10.—John H. Perry  
Chemical Engineering Handbook.  
Mc. Graw Hill Book Company Inc.  
Pags. (370-74, 377-82, 413-16, 441-45)  
New York, Toronto, London.  
1950
- 11.—Hesse Rushton  
Process Equipment Design.  
D. Van Nostrand Company, Inc.  
Pags. (216-224, 14-16)  
New York, Toronto, London.  
1945
- 12.—Petroleum Refiner, Vol. 34, No. 11, p. (197-200). 1955
- 13.—Ingeniería Química, Vol. 2, No. 8, p. (12-14). 1957
- 14.—Design of Piping System.  
The M.W. Kellogg Company  
John Wiley & Sons, Inc.  
Pags. (336-40) Segunda Edición.  
New York, London.
- 15.—Packless Expansion Joint, Cat. 50-50 A, pag. 37-38
- 16.—Ingeniería Química, Vol. 1, No. 1, p. (6-9) 1956.
- 17.—Ingeniería Química, Vol. 6, No. 55, p. (32-35) Feb. 1961