

7-109



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LAS LINEAS  
DE CONDUCCION DE HIDROCARBUROS  
PARA PETROLEOS MEXICANOS

T E S I S

Que para obtener el Título de:  
INGENIERO CIVIL  
p r e s e n t a  
ANTONIO ADELAIDO ORTIZ GALLEGOS



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

	Página
I . INTRODUCCION	3
II . BASES DE DISEÑO	5
2.1 Planeación de las líneas de conducción.....	5
2.2 Cálculo de los volúmenes a manejar.....	5
2.3 Localización de las líneas de conducción....	6
2.4 Especificaciones para el trazo de una línea.	7
2.5 Clasificación de la localización de una lí- nea de conducción.....	8
III. CALCULO DE LA LINEA	11
3.1 Determinación de las constantes.....	11
3.2 Cálculo del diámetro de tubería.....	20
3.3 Cálculo del diámetro económico.....	24
3.4 Cálculo del espesor de tubería.....	27
3.5 Obtención de los factores (F),(E) y (T) que intervienen en el cálculo del espesor de la- tubería.....	27
IV . DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE- LAS DIFERENTES FASES	31
4.1 Recepción, transporte y almacenamiento de -- los materiales.....	33
4.2 Derecho de vía.....	34
4.3 Apertura de la brecha.....	35
4.4 Conformación del derecho de vía.....	35
4.5 Cepa.....	37

	Página
4.6 Soldado de tubería.....	39
a) Equino de soldar.....	39
b) Examen y competencia de los soldadores.....	39
c) Métodos de prueba y resultados.....	40
d) Alineamiento de los tubos.....	40
e) Sistema de soldar.....	43
f) Calidad de la soldadura.....	43
4.7 Inspección de la soldadura.....	44
a) Métodos de inspección destructivas.....	44
b) Métodos de inspección no destructivas.....	44
4.8 Pruebas con aire.....	49
4.9 Limpieza de la tubería.....	49
4.10 Pintura anticorrosiva (Primer).....	49
4.11 Esmaltado (Anticorrosivo).....	50
4.12 Envoltura de la tubería.....	50
4.13 Bajado y tapado de la tubería.....	50
4.14 Bajado y tapado del SLACKS LOOP.....	51
4.15 Cruzamientos con carreteras y vías de ferrocarril.	51
4.16 Cruzamientos de corrientes de agua.....	52
4.17 Cruzamientos con pantanos.....	73
4.18 Cruzamientos aéreos.....	74
4.19 Instalaciones de válvulas de seccionamiento.....	77
4.20 Instalaciones de tramas de diablos.....	77
4.21 Instalaciones de plantas de compresión.....	79
4.22 Instalaciones de estaciones de medición y regula- ción.....	79
4.23 Inspección general de la línea.....	79
4.24 Prueba Hidrostática de la línea.....	80

V . CONCLUSIONES. 82

BIBLIOGRAFIA. 84

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION

Uno de los factores fundamentales para la industrialización del país, es el de contar con un abastecimiento constante y seguro de los diferentes productos que se utilizan para generar energía; es aquí en donde las líneas de conducción tienen un papel importante, por ser estas más económicas y eficientes para el transporte de hidrocarburos.

Los últimos estudios realizados han mostrado que el subsuelo mexicano posee mayor riqueza petrolera de la que se sabía y creía, esto ha obligado recientemente a Petróleos Mexicanos a elaborar un programa de trabajo para el gran desarrollo de las operaciones petroleras. Como parte de este crecimiento se requiere transportar grandes volúmenes de hidrocarburos, para lo cual es necesario construir cientos de kilómetros de líneas de tuberías de diferentes diámetros.

El campo de los hidrocarburos conducidos a través de tuberías es tan amplio, que en virtud del espacio, tenemos que hablar de un producto en especial, en este caso, el gas natural; sin embargo, los conceptos generales que aquí se tratan son aplicables a la conducción de otros hidrocarburos.

El motivo por el cual en el presente trabajo se habla de la conducción de gas natural, es debido a que es este el combustible de actualidad en nuestro país, por las siguientes ventajas:

1. Por existir en abundancia en nuestro país y por falta de gasoductos se ha estado quemando a la atmósfera.
2. Facilidad, limpieza y rendimiento en la combustión.
3. No necesita almacenamiento, por tanto el suministro es constante.
4. El abastecimiento se tiene a las puertas del consumidor.

abajo costo comparativamente con los demás combustibles.

6. En la actualidad se emplea también como materia prima, básica en la petroquímica para la obtención de productos industriales de gran demanda en nuestro país.

## CAPÍTULO II

### BASES DE DISEÑO

#### 2.1 PLANEACION DE LAS LINEAS DE CONDUCCION.

La planeación de las líneas de conducción requiere un estudio detallado de una región a la cual se proyecte abastecer de gas natural, debiendo tomar en cuenta las ciudades comprendidas en ellas en función de su importancia demográfica y de su desarrollo industrial.

Será consecuencia de este estudio el que resulte económicamente factible construir una línea para suministro de gas natural, la cual deberá planearse en forma tal, que con el mínimo de longitud pueda abastecer al mayor número posible de poblaciones. Sin embargo, existen casos en los que aunque económicamente no sea conveniente el abastecimiento de gas natural a ciertas ciudades, el hecho de contar con este combustible, hace que se desarrolle económicamente por el establecimiento de nuevas industrias.

Otro factor primordial en la planeación, es el de estudiar el punto desde donde se puede abastecer a las líneas en estudio, es decir, el punto donde se cuenta con ese producto y que a partir de ese lugar se tiene la capacidad y la presión conveniente para poder prolongar las líneas existentes.

#### 2.2 CALCULO DE LOS VOLUMENES A MANEJAR.

Para conocer el volumen de gas natural que deberá conducir la línea en estudio, se principia por efectuar censos de consumo de los combustibles que pueden ser sustituidos con este gas, en la zona o ciudad en estudio, efectuando estos censos por medio de entrevistas individuales con cada una de las industrias para conocer los consumos horarios de combustible en cada una de sus instalaciones, como son: hornos, calderas, quemadores, etc., tomando en cuenta este censo industrial y haciendo la investigación del - -

consumo doméstico y comercial, se obtiene el volumen total con el que deberá abastecer a dicha ciudad o zona, este volumen total se transforma a gas natural, de acuerdo con el poder calorífico de dichos combustibles a sustituir para obtener finalmente el volumen de gas natural a manejar.

Una vez determinado el volumen total que consumirá -- una ciudad o zona, este se incrementa anualmente con los porcentajes correspondientes, fijados por las industrias y el incremento de la población en cada ciudad, y así se tiene el valor del volumen de gas natural que se consumirá con pronósticos por un mínimo de diez años.

Debido a que no todas las industrias tienen operación continua durante las 24 horas del día, se presentan dos -- valores de volumen transportado, los que se han denominado " CONSUMO REAL " considerado para el cálculo del importe de las ventas y " CONSUMO DE DISEÑO " que es el considerado para la determinación de las instalaciones necesarias -- para el transporte.

### 2.3 LOCALIZACION DE LAS LINEAS DE CONDUCCION.

La localización de las líneas depende en primer lugar de la ubicación de las ciudades a las cuales se va a abastecer de gas natural, como se expuso anteriormente, pero es necesario tomar muy en cuenta otros factores desde el punto de vista de construcción de la línea, teniéndose que analizar las zonas por las que atraviesa, los obstáculos -- propios de la topografía del terreno y además, sujetarse a ciertas especificaciones dictadas de acuerdo con las necesidades de la línea.

En la localización del gasoducto afectan al costo de construcción el derecho de vía, al tratarse por ejemplo de terrenos particulares y si son cultivados con mayor razón, llanos federales y en mano de obra por el reglamento de -- salarios por zonas. La naturaleza del terreno afecta grandemente, pues es más barato construir en llanura sólida y seca, que en terreno pantanoso, así como también en terreno montañoso.

## 2.4 ESPECIFICACIONES PARA EL TRAZO DE UNA LINEA.

A continuación se enlistan algunas de las especificaciones que son empleadas comúnmente para el estudio de líneas de conducción y serán éstas las que regulen el trazo de la mencionada línea.

10. Se tratará de seguir una línea recta entre los puntos de origen y destino, en caso de ramales intermedios, se buscará que la línea troncal no desvíe su alineamiento general, aunque sea esto a costa de un incremento en la longitud de los ramales.
20. El alineamiento prácticamente estará fijado por los puntos obligados a seguir previamente localizados, tratando dentro de lo posible de evitar el paso de poblaciones, cruce de barrancas, arroyos, canales, así como cruzamientos con carreteras y vías de ferrocarril.
30. Deflexión máxima igual a  $20^\circ$ , en el caso de tener una deflexión mayor, se harán tantos puntos de inflexión, como sean necesarios, tomando en cuenta el radio de curvatura mínimo de treinta veces el diámetro de la línea en estudio.
40. Pendiente máxima del 30% .
50. Obras especiales.- Los cruces con arroyos, ríos, -- vías de ferrocarril, carreteras, etc. se harán, de preferencia, a  $90^\circ$  y en donde las condiciones del terreno lo permitan.
60. Para contar con una localización adecuada para una línea de conducción y cumplir con las condiciones que fijan el código ASA -B-31.8 que es el adoptado para reglamentar tanto el proyecto como la construcción de las líneas de conducción, el cual deberá seguirse con detalle lo referente a lo establecido para clasificar la localización de la línea, según-

las zonas, tipos de terrenos y de la cercanía a la línea de los poblados o poblaciones por los que atraviese.

A continuación se expresa la forma como se clasifica a dichas zonas, de acuerdo con el INDICE DE DENSIDAD DE POBLACION. Existen dos índices de densidad, los cuales, en el momento de -- elaborar el proyecto y el diseño de la línea, deberán tomarse en cuenta para la clasificación de la localización de la misma y -- las pruebas a las que se somete la línea en el momento de construirla.

- a) El índice de densidad de una milla (1600 mts.), su determinación se hace trazando una faja de 0.5 de milla (800 mts.) a cada lado de la línea y se divide esta -- zona en longitudes de una milla sobre la misma, en seguida se cuenta el número de edificios o construcciones, cuyo destino sea para uso de personas, y este será el índice de densidad de una milla.
- b) El índice de densidad de 10 millas (16.0 Km.), su determinación se hace sumando los índices de densidad de cada una de las divisiones de una milla, obteniendo en esta forma un resultado, el cual deberá ser dividido -- entre diez y se obtendrá el índice de densidad buscado.

## 2.5 CLASIFICACION DE LA LOCALIZACION DE UNA LINEA DE CONDUCCION.

LOCALIZACION CLASE 1. Dentro de esta clasificación se consideran: terreno agreste, desierto, pastizales, terrenos de sembradío, montañas escarpadas y combinaciones de estos mismos, --- además, deberá estar dentro de los siguientes límites de densidad de población:

- a) El índice de densidad de una milla, será menor de 20.
- b) El índice de densidad de 10 millas para cualquier sección de la línea, deberá ser menor de 12.

**LOCALIZACION CLASE 2.** Esta clasificación comprende - áreas en donde el grado de desarrollo es intermedio entre la clase 1 y la clase 3, incluyendo áreas comprendidas fuera de los límites de las ciudades, pueblos, ranchos y zonas industriales, en donde el límite de densidad de una milla pasa el número de 20 y el límite de densidad de 10 millas es mayor de 12.

**LOCALIZACION CLASE 3.** Esta clase corresponde a aquellas áreas lotificadas para residencias o comercios en donde en el momento de la construcción de la línea, el 10% o más de los lotes colindantes sobre la calle o el derecho de vía en el cual se localiza la tubería, ya están construidos y no corresponde a la clasificación marcada con clase 4. Como abundamiento se dice que la clase 3 corresponde a áreas ocupadas totalmente por edificios, comercios o residencias cuya altura máxima es de tres pisos.

**LOCALIZACION CLASE 4.** Esta clasificación corresponde a zonas en donde predominan edificios de 4 o más pisos, el tráfico pesado e intenso y en donde existen instalaciones de otros tipos bajo el terreno, como son: drenajes, teléfonos, cables eléctricos, líneas de agua, etc..

Además de las clasificaciones antes mencionadas para las diferentes zonas, el código ASA - B -31.8 establece un tipo de construcción para cada una de las citadas clasificaciones. Cabe hacer notar que estas clasificaciones son las que gobiernan las presiones máximas de operación de las líneas, por lo que consecuentemente, las troncales deberán localizarse en clase 1 y 2 como máximo.

Desde el punto de vista topográfico para el levantamiento de las líneas de conducción de hidrocarburos, en forma muy general a continuación se describen los procedimientos del trozo y nivelación de las mismas:

- a) Poligonal abierta con verificación angular por medio de orientaciones astronómicas cada 10 Kms.

- b) Nivelación, transportando las elevaciones de los bancos de nivel conocidos a la línea y posteriormente se verifican a lo largo de la misma, por medio de bancos de nivel de estaciones de ferrocarril o de alguna dependencia conocida.
- c) La verificación lineal se consigue con el apoyo de la nivelación diferencial cada 20 metros, revisando con esto los cadenamientos del trazo, -- efectuando además triangulaciones auxiliares, de acuerdo con la configuración del terreno.
- d) Liga de la poligonal con algún vértice de triangulación para levantamientos geodésicos efectuados por alguna dependencia reconocida.

## CAPITULO III

### CALCULO DE LA LINEA

Entre las consideraciones que se deben tomar en cuenta en el proyecto de un gasoducto están: el volúmen real o aproximado de que se dispone para transportar, la energía que tiene el mismo gas en la parte inicial del ducto, zonas que atravesará en el recorrido total el gasoducto, si el volúmen que transportará será constante en toda su longitud o se ramificará y se irá distribuyendo ese volúmen en el trayecto, la necesidad de instalar unidades compresoras a determinadas distancias, etc.

Analizando las propiedades físicas y químicas del gas en cuestión, de la energía que se dispone y el volúmen a transportar podemos hacer uso de algunas de las fórmulas para el cálculo del transporte del gas en tuberías y determinar la variable elegida como incógnita.

En muchas de estas fórmulas vienen implicadas ciertas -- constantes, las cuales se pueden determinar en las plantas de absorción, el procedimiento para la obtención de las citadas -- constantes se describirá mas adelante.

Por razones prácticas, en algunos de los cálculos realizados en el presente trabajo, se han respetado las unidades obtenidas en el sistema Inglés, considerando que al hacer la conversión al Sistema Métrico y Decimal, podrían introducir una -- posible fuente de errores. Por lo anterior, espero la aceptación del Honorable Jurado por presentar esta Tesis en la forma mencionada, ya que el sistema oficial de unidades en México es el Sistema Métrico y Decimal.

#### 3.1 DETERMINACION DE LAS CONSTANTES.

a) PESO MOLECULAR (M): Para determinar el peso molecular del gas se hace uso del análisis realizado al gas a la salida de la planta de absorción, este será igual al producto -- del por ciento en volúmen de cada uno de los componentes por -- el peso molecular de los mismos entre 100 y se podrá represen-

tar por la expresión:

$$M = \frac{\% V_i M_i}{100}$$

en esta expresión (i) es el componente.

b) DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL GAS ( $\gamma_g$ ): Se obtiene dividiendo el peso molecular del gas entre el peso molecular del aire multiplicado por el peso específico del aire. -- Luego el peso específico del gas es igual al producto de la -- gravedad específica del gas por el peso específico del aire.

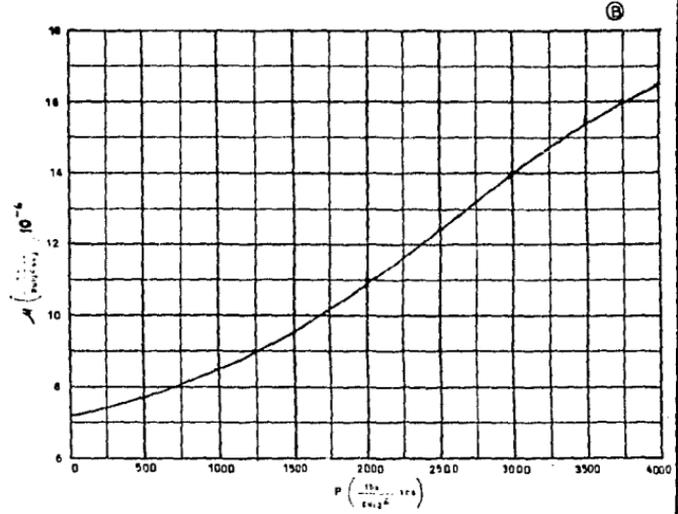
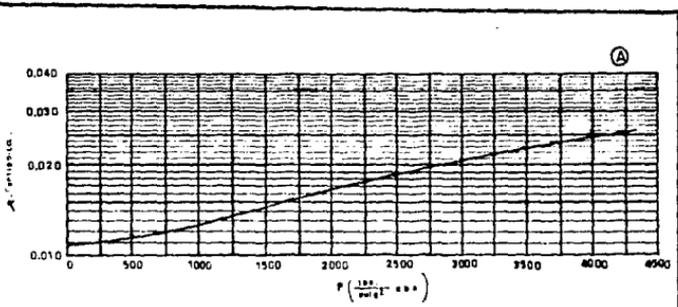
$$\gamma_g = \frac{(M)_{\text{Gas.}}}{(M)_{\text{Aire}}} (\gamma_{\text{aire}}) \quad [\text{lbs./pie}^3]$$

medido a 20° C y a 1 atm.

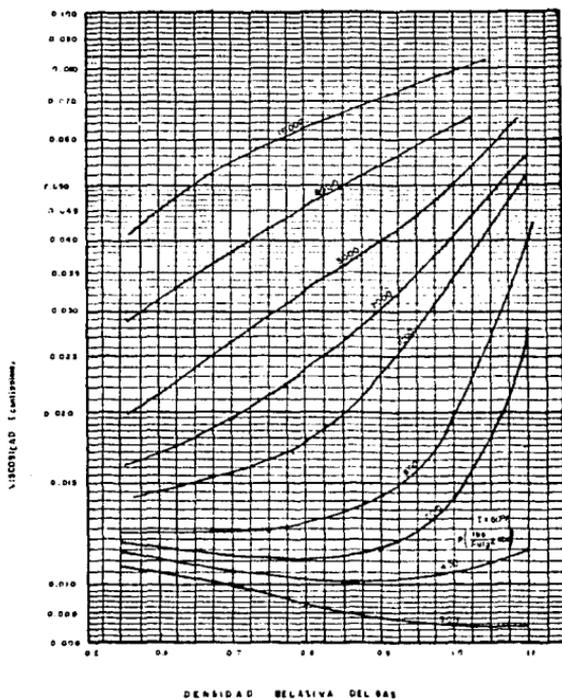
c) EVALUACION DE LA VISCOSIDAD (V): La mayoría de los métodos para determinar la viscosidad de los gases son puramente científicos, requiriendo aparatos de laboratorio altamente finos y considerable habilidad en la operación y en la interpretación de los resultados.

Jno de esos métodos está basado en la relación entre el factor de fricción y el número de Reynolds; para el flujo de -- gas a través de una tubería circular, primero se hace transitar por el tubo un gas de viscosidad conocida y luego el gas cuya -- viscosidad se desea determinar, de las relaciones entre los dos flujos se determina la viscosidad del gas problema. El aire seco es usado como gas de referencia, pues su viscosidad absoluta ha sido bien establecida por varios investigadores.

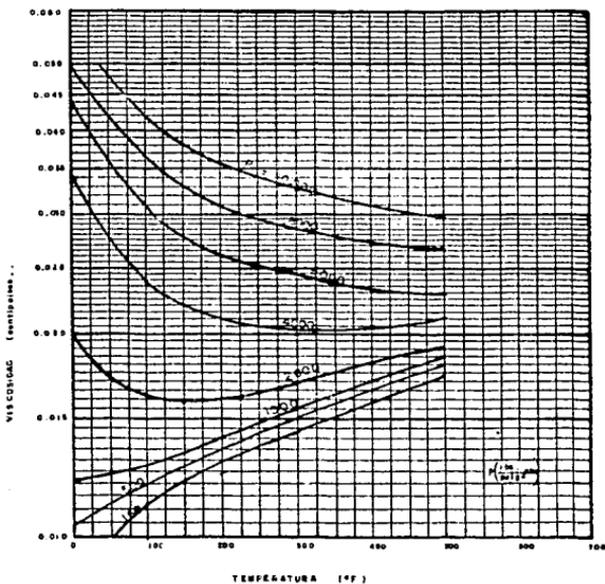
En la práctica se hace uso de las gráficas (3-2) y (3-3). -- La gráfica (3-1) es la relación de la viscosidad del gas en -- cuestión con la presión.



-14-



GRAFICA N.º 3-2



GRAFICA N.º. 3-3

d) FACTOR DE COMPRESIBILIDAD O DESVIACION (Z): El valor promedio del factor de compresibilidad o desviación (Z), está en función de la presión a la entrada (P<sub>1</sub>) y de la presión a la salida (P<sub>2</sub>) y puede ser obtenido partiendo de las ecuaciones:

$$P_r = \frac{P_m}{P_c} \quad \text{y} \quad T_r = \frac{T_m}{T_c}$$

donde:

P<sub>r</sub> = Presión pseudo reducida

P<sub>m</sub> = Presión media de la línea

P<sub>c</sub> = Presión pseudo crítica

T<sub>r</sub> = Temperatura pseudo reducida

T<sub>m</sub> = Temperatura media de la línea

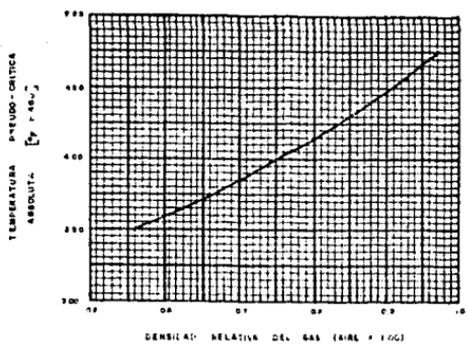
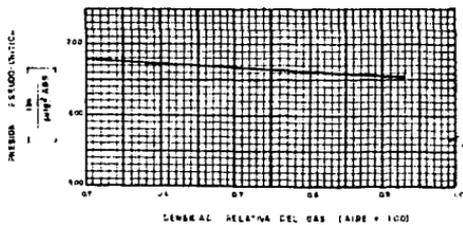
T<sub>c</sub> = Temperatura pseudo crítica

Conociendo la densidad del gas se entra a la gráfica (3-4) para obtener (P<sub>c</sub>), de la misma manera para obtener (T<sub>c</sub>) se entra a la gráfica (3-5), conocidas (P<sub>m</sub>), (T<sub>m</sub>), (P<sub>c</sub>) y (T<sub>c</sub>) se calculan (P<sub>r</sub>) y (T<sub>r</sub>), para con estos valores entrar a la gráfica (3-6) y encontrar el valor de (Z).

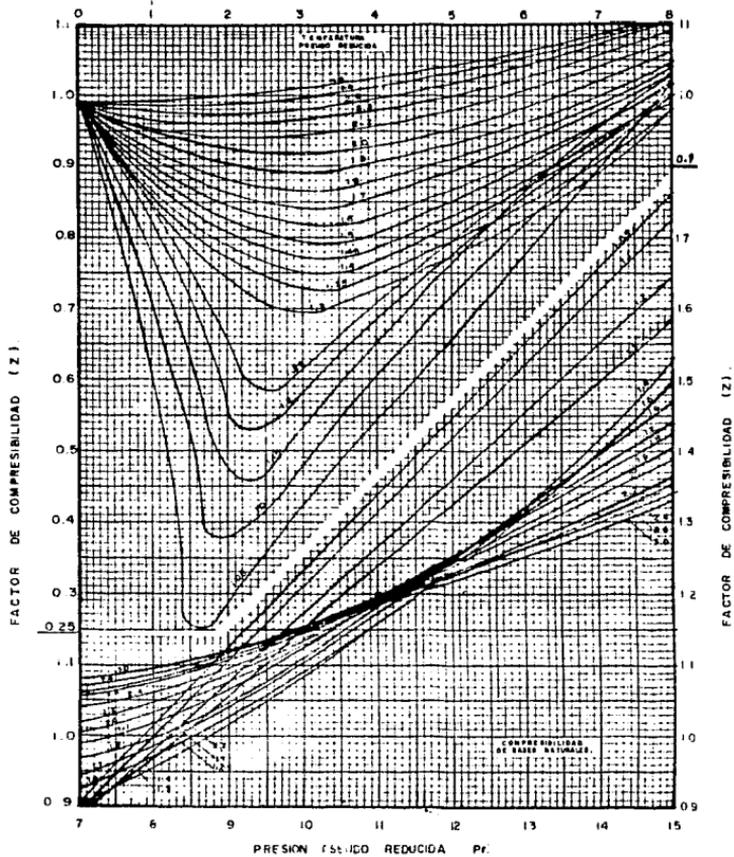
e) OBTENCIÓN DEL FACTOR DE FRICCIÓN (f) (EN FUNCIÓN DEL -- NUMERO DE REYNOLDS): Se obtiene por medio de la gráfica (3-7), donde la línea recta está representada por la siguiente ecuación empírica:

$$f = (0.03015)(Re)^{-0.1505}$$

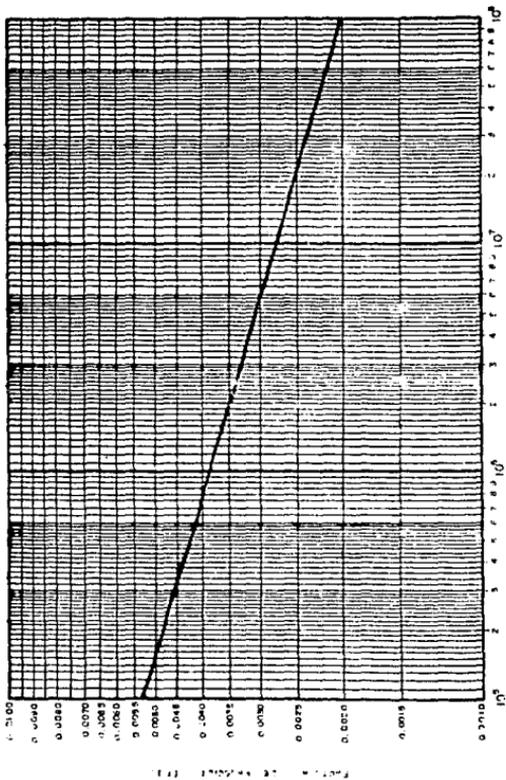
$$f = (0.03015) \left[ \frac{(v)(d)(\gamma_g)}{(\mu)(g)} \right]^{-0.1505}$$



PRESION PSEUDO REDUCIDA  $P_r$



GRAFICA 3-6



NUMERO DE REFINADOS

GRAFICA No 3-7

### 3.2 . CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIA

Las fórmulas para calcular la tubería están basadas en la fórmula general de flujo de fluidos, en este caso particular, como es el transporte del gas natural, el desarrollo de esta fórmula la tendrá que estar basada en los siguientes puntos:

1. Ningún trabajo es efectuado sobre el fluido por el medio externo.
2. El flujo es continuo, uniforme, ésto es, el mismo peso de gas pasa por un intervalo de tubería en cierto período de tiempo.
3. El flujo es isotérmico, esto es, que la temperatura del fluido no cambia en toda la longitud de la tubería.
4. El gas natural se comporta de acuerdo con la ley de Boyle, la cual establece que:  $P_1 V_1 = P_2 V_2 = K$
5. No hay diferencia de elevación a todo lo largo de la línea.

El desarrollo de la ecuación está basado en el teorema de Bernoulli, así que haciendo un balance de energía tendremos:

$$H_1 + P_1 V_1 + \frac{V_1^2}{2g} + W_e - W_f = H_2 + P_2 V_2 + \frac{V_2^2}{2g} \text{ ----- (3-1)}$$

La ecuación anterior es válida para cualquier sistema de unidades.

H = Energía potencial de una libra de fluido debida a su posición, dada por su altura en pies, con respecto a un cierto plano de referencia.

PV = Trabajo mecánico realizado por una libra de fluido a lo largo de una sección.

P = Presión absoluta del fluido, [lb./pie<sup>2</sup>]

V = Volúmen específico del fluido a la presión (P),  
[Pies<sup>3</sup> /lb.]

$\frac{v^2}{2g}$  = Energía cinética de una libra de fluido.

$v$  = Velocidad del fluido, [Pies/Seg.]

$g$  = Aceleración debido a la gravedad, [Pies/Seg.<sup>2</sup>]

$W_e$  = Trabajo mecánico dado por una libra de fluido debido a su expansión mientras pasa de la entrada a la salida del tramo considerado.

Desarrollando esta ecuación (3-1), se obtendrá la fórmula general para flujo de gas en tubería, la cual tendrá la siguiente forma:

$$Q = K \left( \frac{T_o}{P_o} \right) \left[ \frac{(P_1^2 - P_2^2) d^5}{\delta_g T L f} \right]^{\frac{1}{2}} \text{-----(3-2)}$$

en donde:

$K$  = Constante numérica

$T_o$  = Temperatura base definida para 1 pie<sup>3</sup> de gas [°R]

$P_o$  = Presión base definida para 1 pie<sup>3</sup> de gas [lbs./pulg.<sup>2</sup>]

$P_1$  = Presión de entrada [lbs./pulg.<sup>2</sup> abs.]

$P_2$  = Presión de salida [lbs./pulg.<sup>2</sup> abs.]

$d$  = Diámetro interior de la tubería [pulgadas]

$\delta_g$  = Densidad relativa del gas [aire=1]

$T$  = Temperatura de flujo del gas [°R]

$L$  = Longitud de la tubería [millas]

$f$  = Coeficiente de fricción.

Incluyendo el coeficiente de fricción ( $f$ ), la temperatura base ( $T_0$ ), la presión base ( $P_0$ ), la densidad relativa del gas ( $\Sigma_g$ ) y la constante numérica ( $K$ ) en una nueva constante - - ( $K$ ), tendremos la fórmula general para flujo de gases en forma simplificada:

$$Q = K, \left[ \frac{(P_1^2 - P_2^2) d^5}{T L} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ --- (3-3)}$$

$$K, = \frac{K T_0}{P_0 (\Sigma_g f)^{1/2}} \text{ --- (3-4)}$$

El valor de ( $K$ ,) dependerá de las condiciones base - y principalmente del valor asignado al coeficiente de fricción ( $f$ ).

En varias fórmulas donde el coeficiente de fricción está expresado en función del diámetro de la tubería, el exponente del diámetro varía.

La diferencia fundamental entre las muchas fórmulas derivadas para el flujo de gas, estriba en la valorización del coeficiente de fricción ( $f$ ).

Los valores experimentales obtenidos para el coeficiente de fricción, algunas veces no estaban de acuerdo con los resultados que ellos originaban, por eso muchas fórmulas que se han propuesto para el flujo de gas en tuberías, son aplicables sólo bajo cierto límite de condiciones.

Las condiciones que afectan al coeficiente de fricción -- son numerosas y variables, por lo que predecir la influencia -- que cada una de ellos tiene en el valor de ( $f$ ) es impracticable. Por ejemplo, las rugosidades de la pared interna de la tubería, es un elemento variable, difícil de incorporar a la -- fórmula.

Los métodos que discurren o tratan del coeficiente de -- fricción los vamos a considerar en tres clasificaciones generales:

- 1o. Algunos investigadores suponen que el valor obtenido para el coeficiente de fricción en experimentos efectuados en una tubería de cierto material que presen-

taba rugosidades, es aplicable en todas las tuberías y sustituyen este valor en la fórmula general.

20. Otros suponen que (f) varía de acuerdo con el diámetro de la tubería.
30. Otros expresan que (f) es función de la relación del diámetro de la tubería y de la densidad, la velocidad y la viscosidad del fluido.

La clasificación de las fórmulas de flujo de gas podemos hacerla de la siguiente manera, considerando 3 subdivisiones:

- a) Fórmulas en las cuales el coeficiente de fricción es constante.
- b) Fórmulas en las cuales el coeficiente de fricción es función del diámetro.
- c) Fórmulas en las cuales el coeficiente de fricción es función del criterio de Reynolds.

Una vez mencionado lo anterior, podemos utilizar como base la ecuación general (3-2) para obtener el diámetro necesario, por lo que elevando al cuadrado la ecuación, queda:

$$Q^2 = K^2 \left( \frac{T_o}{P_o} \right)^2 \left[ \frac{(P_1^2 - P_2^2) d^5}{\delta_g T L F} \right]$$

$$\frac{Q^2 P_o^2}{K^2 T_o^2} = \frac{(P_1^2 - P_2^2) d^5}{\delta_g T L F}$$

despejando (d), tenemos:

$$d = \sqrt[5]{\left( \frac{Q^2 P_o^2}{K^2 T_o^2} \right) \left[ \frac{\delta_g T L F}{(P_1^2 - P_2^2)} \right]} \quad \text{----- (3-5)}$$

Esta es la fórmula para calcular el diámetro de tubería necesario según las necesidades del servicio.

Este método matemático para la determinación de las dimensiones del sistema nos daría valores aproximados que en general son intermedios entre dimensiones estandar de tubería.

Por lo anterior, generalmente en el proyecto de una tubería es parte del método directo, es decir, se selecciona el diámetro más económico, usando las dimensiones de la tubería estándar que se fabrica.

### 3.3 CALCULO DEL DIAMETRO ECONOMICO.

Teniendo la relación de consumos posibles en un periodo determinado, con esto estamos fijando una de las variables que es el gasto (Q) de la fórmula (3-5).

Tenemos también la longitud entre los extremos del gasoducto (L). Fijamos la presión que se debe tener en el extremo final del gasoducto ( $P_2$ ). Se conocen también las características del gas a manejar, de acuerdo con esto la ecuación (3-5) se reduce a:

$$d = f(P_1)$$

diámetro = función ( $P_1$ )

El diámetro económico se calculará fijando un diámetro determinado y calculando ( $P_1$ ). Del valor ( $P_1$ ) obtenido dependerá la necesidad de instalar unidades compresoras o no, según la presión de que se disponga a la entrada de la línea.

El cálculo se iniciará a partir del diámetro mínimo que se considera en estos casos y que es de 3 pulgadas. Con este diámetro determinaríamos una presión ( $P_1$ ). De acuerdo al valor de ( $P_1$ ) obtenido, veríamos si la tubería resistiría esa presión de acuerdo con los espesores y el límite elástico mínimo de las tuberías que se fabrican. Si esta presión fuera muy grande y no la resistiera la tubería, podemos variar (L) de tal manera que la ( $P_1$ ) fuera la de trabajo de la tubería. A la distancia (L) obtenida volveríamos a elevar la presión hasta la presión de --

trabajo de la tubería para recorrer otra (L') hasta llegar al - punto final. Esta (L') nos dará la separación entre estaciones de compresión y (P<sub>i</sub>) que será la del trabajo de la tubería, la-relación de compresión que nos servirá para determinar la poten-cia necesaria en la estación de compresión. Teniendo el diáme-tro de la tubería y la potencia necesaria obtendríamos un cier-to costo anual para este diámetro de 3 pulgadas.

Seguiremos con la tubería de 4 pulgadas de diámetro, repe-tiríamos la operación anterior y obtendríamos el costo general-anual correspondiente.

Así seguiríamos con los diámetros de 5", 6", 8", etc. de--terminando para cada caso el costo general anual.

Se haría un análisis de estos costos y veríamos cuál nos -daría el valor mínimo, el diámetro que nos de este costo mínimo será el seleccionado.

MINIMO ESPESOR DE PARED NOMINAL (EN PULGS).					
DIAMETRO NOMINAL DE TUBO EN PULGS.	DIAMETRO EXTERIOR DEL TUBO EN PULGS.	CLASE DE LOCALIZACION			
		1	2	3	4
3	3.500	0.104	0.125	0.125	0.125
3.5	4.000	0.104	0.125	0.125	0.125
4	4.500	0.104	0.125	0.125	0.125
5	5.563	0.104	0.125	0.125	0.125
6	6.625	0.104	0.134	0.156	0.250
8	8.625	0.104	0.134	0.172	0.250
10	10.750	0.104	0.164	0.188	0.250
12	12.750	0.104	0.164	0.203	0.250
14	14.000	0.134	0.164	0.210	0.250
16	16.000	0.134	0.164	0.219	0.250
18	18.000	0.134	0.188	0.250	0.250
20	20.000	0.134	0.188	0.250	0.250
22, 24, 26	22, 24, 26	0.164	0.188	0.250	0.250
28, 30	28, 30	0.164	0.250	0.281	0.281
32, 34, 36	32, 34, 36	0.164	0.250	0.312	0.312

LIMITES ELASTICOS MINIMOS DE TUBOS DE ACERO		
Especificación	DESCRIPCION	(Libras por pulgada cuadrada)
API-5L	Grado A, sin costura o soldadura eléctrica	30,000
API-5L	Grado B, sin costura o soldadura eléctrica	35,000
API-5L	Clase I, soldadura por calentamiento	25,000
API-5L	Acero Bessemer, soldadura por calentamiento	28,000
API-5L	Grado X 42	42,000
API-5L	Grado X 46	46,000
API-5L	Grado X 52	52,000
ASTM-A53	Grado A	30,000
ASTM-A53	Grado B	35,000
ASTM-A53	Soldadura por calentamiento	25,000
ASTM-A53	Soldadura por calentamiento acero Bessemer	30,000
ASTM-A72		24,000
ASTM-A106	Grado A	30,000
ASTM-A106	Grado B	35,000
ASTM-A135	Grado A	30,000
ASTM-A135	Grado B	35,000
ASTM-A139	Grado A	30,000
ASTM-A139	Grado B	35,000
ASTM-A381	Clase Y-35	3,500
ASTM-A381	Clase Y-42	42,000
ASTM-A381	Clase Y-46	46,000
ASTM-A381	Clase Y-48	48,000

### 3.4 CALCULO DEL ESPESOR DE TUBERIA.

El espesor de la tubería de acero, utilizada para el transporte de gas a una determinada presión de diseño, se puede calcular por medio de la siguiente expresión:

$$t = \frac{P D}{2 SFET} \quad \text{--- (3-6)}$$

en donde:

t = Espesor de pared de la tubería [cm.]

P = Presión de diseño [Kgs./cm<sup>2</sup>]

D = Diámetro exterior de la tubería [cm.]

S = Límite elástico del acero [Kgs/cm<sup>2</sup>]

F = Factor de diseño de construcción tipo

E = Factor de junta longitudinal.

T = Factor de temperatura.

### 3.5 OBTENCION DE LOS FACTORES (F), (E) y (T) QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERIA.

#### Factor de diseño (F):

<u>Tipo de construcción</u>	<u>Localización</u>	<u>Valor de (F)</u>
A	Clase 1	0.72
B	Clase 2	0.60
C	Clase 3	0.50
D	Clase 4	0.40

TIPO (A).- Corresponde a terrenos alterados; desiertos, --  
montañas abruptas, pastizales, rancherías, etc.

TIPO (B).- Areas circunvecinas a ciudades, pueblos, ran-  
chos y áreas industriales.

TIPO (C).- Areas residenciales o comerciales con edificios  
de 3 o menos pisos.

TIPO (D).- Areas donde existen edificios de más de 3 pisos  
y el tráfico es muy denso.

Factor de junta longitudinal (E): Este factor depende  
de la clase de acero de que está fabricada la tubería y del ti-  
po de fabricación de la misma.

ESPECIFICACION	TIPO DE TUBERIA	FACTOR (E)
ASTM-A-53	Sin costura	1.00
	Soldada por resistencia eléctrica	1.00
	Soldada a traslape en -- horno	0.80
	Soldada a tope en horno	0.60
ASTM-A-106	Sin costura	1.00
ASTM-A-134	Soldada por fusión con -- arco eléctrico	0.80
ASTM-A-135	Soldada por resistencia - eléctrica	1.00
ASTM-A-139	Soldada por fusión eléc-- trica	0.80

ASTM-A-155	Soldada por fusión con arco eléctrico	1.00
ASTM-A-381	Soldada con arco doble sumergido	1.00
API-5L	Sin costura	1.00
	Soldada con resistencia -- eléctrica	1.00
	Soldada a traslape en -- horno	0.80
	Soldada a tope en horno	0.60
API-5LX	Sin costura	1.00
	Soldada con resistencia -- eléctrica	1.00
	Soldada con arco sumergido	1.00

Factor de temperatura (T): Este factor depende de la temperatura media de operación de la línea.

<u>°C</u>	<u>Factor (T)</u>
121 ó menor	1.000
149	0.967
177	0.933
205	0.900
232	0.867

De acuerdo con lo asentado en los párrafos anteriores y -- haciendo uso de las fórmulas mencionadas, se podrá determinar -- el diámetro y espesor de tubería más adecuados para satisfacer la demanda en cada caso particular.

Al aumentar los volúmenes que se manejan por los gasoduc-- tos, las caídas de presión son mayores y las presiones de sumi-- nistro a los clientes se van haciendo cada vez menores.

Para aumentar la capacidad de transporte de todo el siste-- ma de distribución, se debe instalar un equipo de compresión de gas natural que sea el adecuado para satisfacer las demandas de las zonas industriales que comprende la red de gasoductos.

## C A P I T U L O   I V

### DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE LAS DIFERENTES FASES.

El primer paso que se sigue en la construcción de un gasoducto es familiarizarse con la región por donde pasará la línea, cruzamientos de carreteras y ferrocarriles, líneas subterráneas, tomas de agua, drenajes existentes en la región y todos los factores que se consideren necesarios para determinar la naturaleza de los trabajos que se tendrán que llevar a cabo y poder basar en ellos el costo de los mismos.

La construcción de un gasoducto no siempre tiene la misma secuencia, debiéndose a factores muy diversos, entre los que se encuentran el tipo de terreno por el que se va a pasar y la importancia del ducto.

En este capítulo se expondrá el proceso utilizado en la construcción de un gasoducto en condiciones normales, cuyas diversas fases de trabajo que se seguirán una vez localizado el trazo, serán las siguientes:

4. 1    Recepción, transporte y almacenamiento de los materiales.
4. 2    Derecho de vía.
4. 3    Apertura de la brecha.
4. 4    Conformación del derecho de vía.
4. 5    Cepa.
4. 6    Soldado de tubería.
4. 7    Inspección de la soldadura.
4. 8    Pruebas con aire.
4. 9    Limpieza de la tubería.
- 4.10    Pintura anticorrosiva (Primer).
- 4.11    Esmaltado (Anticorrosivo).
- 4.12    Envoltura de la tubería.
- 4.13    Bajado y tapado de la tubería.

- 4.14 Bajado y tapado del SLACKS LOOP.
- 4.15 Cruzamientos con carreteras y vías de ferrocarril.
- 4.16 Cruzamientos de corrientes de agua.
- 4.17 Cruzamientos con pantanos.
- 4.18 Cruzamientos aéreos.
- 4.19 Instalaciones de válvulas de seccionamiento.
- 4.20 Instalaciones de trampas de diablos.
- 4.21 Instalaciones de plantas de compresión.
- 4.22 Instalaciones de estaciones de medición y regulación.
- 4.23 Inspección general de la línea.
- 4.24 Prueba hidrostática de la línea.

#### 4.1 RECEPCION, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES.

Toda la tubería, materiales de envoltura anticorrosiva, - válvulas y otros materiales necesarios para la construcción - de un gasoducto, son recibidos en las plantas de fabricación - en buenas condiciones y dentro de especificaciones; cargados - y transportados a sitios adecuados a lo largo de la línea donde deben ser usados.

Bajo ninguna circunstancia se debe descargar la tubería - rodándola o dejarla caer repentinamente, la descarga debe hacerse empleando una grua con los aditamentos adecuados para -- este tipo de trabajo, haciendo la maniobra con el cuidado necesario para evitar, especialmente abolladuras en el cuerpo de - los tubos y golpes en sus biseles. Cuando se trate de tubería - ya esmaltada o revestida de concreto, se deben tomar todas - las precauciones necesarias a fin de que el manejo que se haga no dañe el revestimiento.

El almacenamiento de la tubería se hace en estibas, apo-- yando los extremos y la parte media sobre durmientes de madera, de manera que el tubo no se encuentre en contacto con el -- suelo. Entre las sucesivas capas de tubos en las estibas, se - colocan también durmientes; cada capa de tubos debe asegurarse contra movimientos inesperados mediante el uso de cuñas en los extremos de dichos durmientes.

El número máximo de tubos que pueden estibarse unos sobre otros, depende del diámetro, longitud y peso de cada tramo.

La pintura primaria anticorrosiva (primer) se recibe en - tambores de lámina de 200 litros de capacidad cada uno, su manejo y transporte se hace con mucha precaución para no perjudicar los envases y evitar explosiones debido a que el solvente de esta pintura es muy inflamable. Los tambores deben conser-- varse siempre cerrados, almacenándolos en posición horizontal para evitar la pérdida por evaporación del citado solvente y - la entrada de agua o basura.

El esmalte anticorrosivo se recibe en tambores y se transporta cuidadosamente evitando la rotura prematura de dichos tambbores y la contaminación del esmalte con tierra y basura.

La tela envolvente de fibra de vidrio (vidrioflex) se recibe en rollos, dentro de cajas de cartón resistentes, mismas que se transportan con cuidado evitando que se maltrate su contenido. Su almacenamiento debe ser en un sitio protegido de la in-temperie, la humedad excesiva daña y hasta llega a inutilizar - la tela de fibra de vidrio.

La envoltura de fieltro asbéstico (vidromat) o revestimien to exterior, se recibe, transporta y almacena en la misma forma que la tela de fibra de vidrio.

Las válvulas se reciben de fábrica en perfectas condicio--nes y se transportan tomando todas las precauciones necesarias--para evitar que estas sean golpeadas en las caras de sus bri--das, manivelas, vástagos y dispositivos lubricadores; se evita--rá también que entre tierra y basura al interior de las válvu--las, en cualquier lugar donde se almacenen provisionalmente a --lo largo de la línea, se deben de almacenar sobre tarimas de ma--dera y protegerse perfectamente contra la intemperie. Las caras de las bridas y demás superficies pulidas de las válvulas se deben proteger con una capa de grasa amarilla para evitar la co--rosión.

Los empaques y anillos de acero no deben sacarse de sus --cajas sino hasta el momento en que vayan a ser utilizados, --igualmente los espárragos, tornillos y tuercas se guardarán en--cajas de madera, protegidos con aceite.

La soldadura se recibe en cajas muy bien protegidas y son--almacenadas en sitios donde se tenga una temperatura adecuada - (24,°c), para evitar que su fundente se humedezca ó se reseque.

#### 4.2 DERECHO DE VIA.

Se considera como derecho de vía a la franja de terreno --necesario para las operaciones en la construcción y manteni--miento de cualquier ducto. Deberá de tener un ancho tal que - -

contenga tres zonas de trabajo a saber: zona donde trabajará y transitará el equipo, zona de la cepa y zona donde se depositará el producto de la excavación de la cepa.

Generalmente el derecho de vía que se tiene en la construcción de gasoductos es de 13 mts. de ancho para tuberías -- hasta de 18" y 15 mts. de ancho para las líneas de mayor diámetro a lo largo de todo el gasoducto, como se indica en el dibujo número 4.1. En casos especiales y en una longitud que no -- exceda del 10% de la longitud total, el derecho de vía podrá -- ser más angosto si hay obstáculos para obtener el paso de la -- anchura normal.

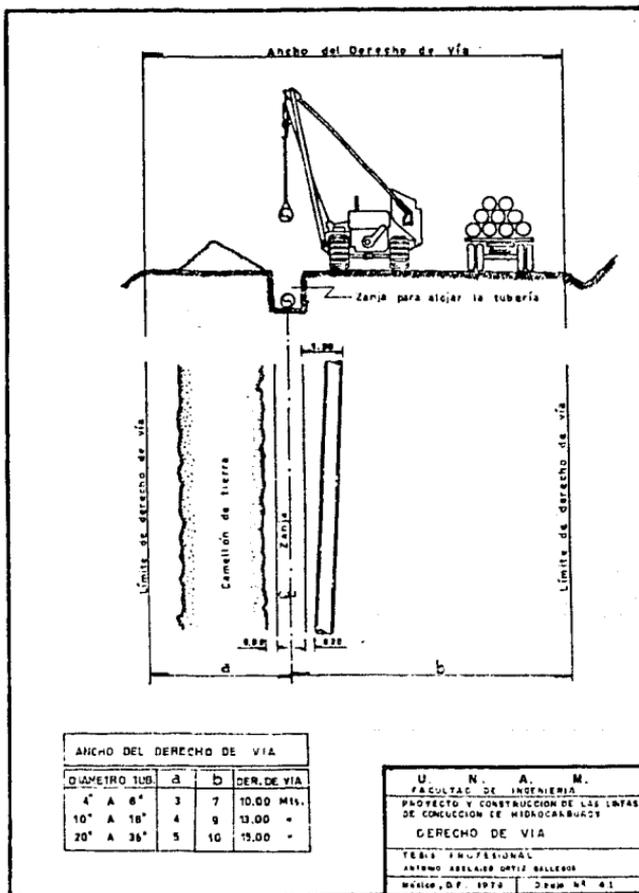
#### 4.3 APERTURA DE LA BRECHA.

Toda la amplitud del derecho de vía se desmontará y deshierbará por completo, teniendo cuidado de que ningún tronco, -- por pequeño que sea, sobresalga de la superficie del terreno. -- Cualquier tronco que quede en la línea de trazo o a menos de -- un metro de dicha línea, en cualquier dirección, deberá ser -- extraído completamente.

Se dejará la brecha despejada de desperdicios sueltos, -- provenientes del desmonte, de manera que el material sobrante -- de la excavación de la cepa no se mezcle con dichos desperdicios. El desmonte se podrá ejecutar, usando herramientas de -- mano o maquinaria apropiada, según convenga el caso.

#### 4.4 CONFORMACION DEL DERECHO DE VIA.

El derecho de vía deberá ser conformado eliminando las -- asperezas del terreno, para permitir el libre tránsito por la brecha. Las irregularidades topográficas del terreno que puedan causar dobleces pronunciados de la tubería que estén fuera de especificaciones, deberán ser allanadas. Lo anterior se -- aplica especialmente en los accesos a cruces de ríos, arroyos, etc..



ANCHO DEL DERECHO DE VÍA				
DIÁMETRO TUB.	a	b	DER. DE VÍA	
4" A 6"	3	7	10.00 Mts.	
10" A 18"	4	9	13.00 "	
20" A 36"	5	10	15.00 "	

U. N. A. M.	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS LÍNEAS DE CONDUCCIÓN DE HIDROCARBUROS	
DERECHO DE VÍA	
TECN. PROFESIONAL	
ANTONIO ABELARDO ORTIZ BALLEGA	
MEXICO, D.F. 1973	DISEÑO N.º 4.1

Generalmente no se rellenan áreas bajas en las que debe hacerse cepa, pues éstas deben quedar en terrenos firmes. La tierra producto de la apertura o conformación del derecho de vía, no deberá colocarse en las partes bajas del mismo derecho de vía, ni en el lecho de los arroyos, ríos, barrancas o canales que se atraviesen, donde puedan interferir con la excavación de la zanja o puedan represar el agua que se escurre, modificando las condiciones de drenaje de la zona.

#### 4.5 CEPA.

La zanja o cepa que se hace para alojar el tubo, debe tener una anchura tal, que permita colocar la tubería con la holgura suficiente, debiendo ser esta del diámetro exterior del tubo más 35 cm. aproximadamente, para que al contraerse por enfriamiento no se produzcan esfuerzos de tensión de la misma y además para que no permanezca en contacto con las paredes de la zanja. Toda raíz que invada el interior de la zanja debe ser cortada al ras del fondo y de las paredes, los pedazos de raíces que se saquen mezclados con el material excavado, deben ser retirados de manera que al tapar la zanja, no se introduzcan.

La tubería debe siempre quedar alojada en terreno natural y no en rellenos, por lo que siempre se debe hacer la zanja en terreno natural, salvo en casos especiales. Con objeto de evitar operaciones innecesarias de doblado de la tubería, en curvas verticales se profundiza más la cepa para no obligar la tubería a seguir irregularidades pronunciadas de la superficie del terreno.

El material excavado deberá ser colocado del lado de la cepa opuesta al que se distribuye la tubería, y deberá mantenerse por lo menos a 30 cm. del borde de la cepa.

Para efectos de pago, será necesario clasificar el material donde se excava la zanja, esto se hará tomando como base los tres tipos siguientes:

**MATERIAL A.** Un material blando o muy blando es 100% material A, cuando su cementación ("cohesión"), - medida en prueba de penetración estándar, o - en compresión simple, es menor o igual a 2.5-Ton/m<sup>2</sup> y cuyo contenido de agua en sitio es - mayor o igual al correspondiente al límite -- líquido.

Un material granular, no cementado, es 100% - material A cuando el 100% de sus partículas - pasan la malla de 7.5 cm.

En cuanto al equipo empleado, es 100% mate- - rial A todo el volumen que se pueda extraer - con eficiencia por medio de moto excrpa o de traxcabo.

**MATERIAL B.** Un material de consistencia sólida es 100% ma- - terial B cuando su cementación ("cohesión"), - medida en compresión simple, es mayor o igual a 40 Ton/m<sup>2</sup> y su contenido de agua es menor o igual al límite de contracción volumétrica.

Un material granular, no cementado, es 100% - material B cuando 100% de sus partículas son- - menores de 0.5 m<sup>3</sup> y mayores de 7.5 cm.

Las rocas alteradas son 100% material B cuan- - do la separación de sus grietas es igual o mg- - nor de 5 cm.

En cuanto al equipo empleado, es 100% mate- - rial B todo el volumen que para aflojarlo re- - quiere el uso de arado tirado por tractor; o- - si se excava directamente, requiere el uso de cuchilla.

**MATERIAL C.** Un material es 100% material C cuando la re- - sistencia de compresión simple de una muestra inalterada es de 1120 Kg/cm<sup>2</sup> o mayor, el espa- - ciamiento entre grietas es 100 cm. o mayor y- - el RQD (Rock Quality Designation) mayor de -- 75% .

Un material es 100% material C cuando se excava mediante el empleo de explosivos de detonación rápida.

#### 4.6 SOLDADO DE LA TUBERIA.

El trabajo de soldadura se hace en su totalidad por el procedimiento manual de arco eléctrico protegido y deben observarse los siguientes requisitos:

a) Equipo de soldar.

Las máquinas para soldar y todos sus accesorios ( cables porta - electrodos, etc.) deben ser del tipo y tamaños adecuados para el trabajo, deben estar en buenas condiciones para asegurar soldaduras de buena calidad, continuación de operación y seguridad para el personal. Las máquinas de soldar deben ser operadas dentro de los rangos de voltaje e intensidad de corriente recomendada por el fabricante para cada tipo y tamaño de electrodo y la clase de soldadura por efectuar.

b) Examen y competencia de los soldadores.

Todo soldador que intervenga en la construcción debe ser previamente examinado, para que se le permita soldar la tubería o cualquier otro aditamento a ella si resultase aprobado en el examen. El examen a cada soldador debe hacerse como sigue: Hará una soldadura en tubería de diámetro, espesor y especificaciones de la clase de tubo que se empleará en la construcción del gasoducto, usando para ello "carretes" de dicha tubería y la misma clase de electrodos y condiciones que se emplearían en la construcción. - El soldador al examinarse debe emplear la misma técnica de soldar y el mismo procedimiento que seguirá en la línea en caso de que saliese aprobado.

De la soldadura de prueba ( carrete soldado ), debe cortarse probetas en número máximo de 12, dependiendo del diámetro del tubo en la forma siguiente:

<u>DIAMETRO EXTERIOR DEL TUBO</u>	<u>No. DE PROBETAS</u>
114.30 mm.(4 ") y menor	4
168.30 mm.(6 ") a 323.90 (12 ")	6
335.60 mm.(14") y mayor	12

Las muestras deben tomarse como se indica en el dibujo No. 4-2.

Las probetas para determinar el esfuerzo a la tensión deben romperse en el metal base, fuera de la zona de fusión. Las probadas al doblado deben quedar exentas de grietas. Por último, las que son sometidas a prueba de sanidad, deben mostrar una completa fusión y penetración en todo el espesor de la probeta y no mostrar inclusiones de escoria, bolsas de gas, quemaduras o cualquier otro defecto, en número y tamaño mayores de los permitidos.

c) Métodos de prueba y resultados.

Las probetas para prueba deben ser como se muestran en el dibujo No. 4-3 y los resultados serán como se indica a continuación:

Para la prueba de tensión, si dos o más probetas se rompen en la soldadura o en la zona de fusión, antes de alcanzar el esfuerzo de ruptura del metal base, el soldador es descalificado.

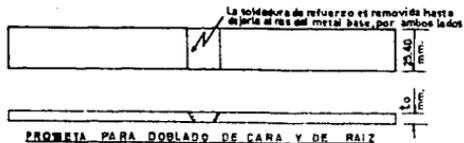
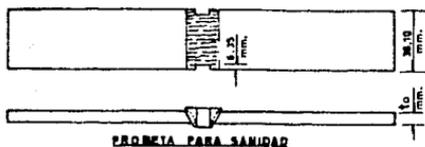
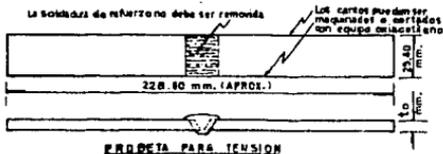
La prueba de sanidad debe mostrar completa penetración y fusión en todo el espesor de la probeta. La superficie expuesta debe mostrar como máximo 6 bolsas de gas en 645 mm. (una pulgada cuadrada), con dimensión máxima que no exceda de 1.58 mm. (1/16"). Las inclusiones de escoria no deben ser mayores de 0.79 mm. (1/32") de profundidad ó 1.58 mm. (1/16") de ancho y separadas entre sí por lo menos 12.70 mm. (1/2") de metal sano.

La prueba de doblado es aceptable si en el metal de la soldadura o en la zona de fusión no se presentan grietas u otros defectos que excedan de 3.17 mm. (1/8") en cualquier dirección después del doblado.

d) Alineamiento de los tubos.

Antes de alinear cada uno de los tubos para soldarse, deben ser cuidadosamente limpiados de su bisel, quitándole toda materia extraña y secándolo, para lograr una soldadura perfecta.





U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LAS LINEAS DE CONDUCCION DE HIDROCARBUROS
PROBETAS PARA PRUEBAS DE SOLDADURA
TESIS PROFESIONAL
ANTONIO ABELARDO GARCIA SALLEROS
México, D.F. 1977. Doble N° 43

El alineamiento se hace por medio de un alineador-expansor neumático o mecánico interno, dejando una abertura de raíz de 0.79 mm. (1/32") a 1.58 mm. (1/16"), de tal manera que asegure una completa penetración de la soldadura sin ocasionar quemaduras.

e) Sistema de soldar.

Con el alineador debidamente colocado y el tractor con --- pluma lateral inmóvil, sosteniendo al tubo a una altura mínima de 400 mm. (16") sobre el terreno (esto es con el objeto de que los soldadores tengan un mayor movimiento de su brazo); se debe aplicar el primer paso o cordón de soldadura (fondeo), por medio de dos soldadores simultáneamente - (en tubería de 254 mm. de diámetro exterior y mayor), empezando en cuadrantes diametralmente opuestos, con el objeto de que el calor se reparta simétricamente en toda la unión y así evitar grietas, por contracciones al enfriarse la soldadura.

Después del primer cordón, una vez que se limpia perfectamente, es aplicado un segundo cordón ( paso caliente ), -- con el fin de reforzar el fondeo y remover toda la escoria, esencialmente las líneas de escoria que hayan quedado en el primer cordón. Este segundo paso se aplicará igualmente por dos soldadores y en las mismas condiciones que el fondeo.

Enseguida se limpia perfectamente el segundo cordón, para que sean aplicados los cordones de relleno y por último el cordón de acabado o de vista. Este último paso debe ser -- aplicado en tal forma, que nos permita tener una unión terminada con un refuerzo no menor de 0.79 mm. (1/32") y no mayor de 1.58 mm. (1/16") y cuyo ancho debe ser de 3.17 mm. (1/8") mayor que el ancho de la ranura original

f) Calidad de la soldadura.

La resistencia a la tensión de la soldadura nunca debe ser menor que la resistencia a la tensión del material base. - La sanidad de las soldaduras debe ser tal, que todas las probetas que se corten de una unión del gasoducto, muestren completa penetración y fusión en todo el espesor de -

la soldadura. La ductilidad de la soldadura tiene que ser tal que manifieste un alargamiento mínimo del 20% al doblar las probetas a un ángulo mínimo de 90° sin fracturas.

El soldado no se efectuará cuando la calidad de la soldadura sea afectada por las condiciones prevalcientes del tiempo, incluyendo humedad arrastrada por vientos, tolvaneras, tiempo frío y vientos fuertes. El manejo de secciones de tubería no se permitirá hasta que las soldaduras estén suficientemente frías.

#### 4.7 INSPECCION DE LA SOLDADURA.

Como es de vital importancia que las uniones de la tubería presenten una óptima calidad en sus soldaduras a continuación describimos los métodos de inspección utilizados para comprobar la eficiencia de las juntas soldadas:

a) Métodos de inspección destructivas:

Pruebas de tensión directa.

Pruebas de doblez guiado.

b) Métodos de inspección no destructivas:

Inspección visual.

Inspección radiográfica.

Método de magna flux.

Método con pruebas ultrasónicas.

Inspección por medio de aceite penetrante.

#### PRUEBAS DE TENSION DIRECTA.

Las pruebas de tensión directa son hechas para medir la resistencia a la tensión de las juntas, mismas que deberán tener una resistencia a la ruptura mayor que la resistencia a la ruptura especificada para el material base.

#### PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO.

La prueba de doblez guiado se hace para verificar el grado de solidez y ductibilidad de las soldaduras, las probetas se -- cortarán del tubo de prueba, las superficies cortadas se denominan costados de probeta, llamándose las otras dos superficies -- cara y raíz. La superficie llamada cara tiene el ancho mayor de la soldadura, los dobleces hechos en la probeta pueden ser de -- 5 tipos:

Dobleces transversal de costado.

Dobleces transversal de cara.

Dobleces transversal de raíz.

Dobleces longitudinal de cara.

Dobleces longitudinal de raíz.

Para aceptarse, las probetas no deberán tener fracturas o aberturas que excedan 3.17 mm. (1/8") medidas en cualquier dirección de la superficie combada.

#### INSPECCION VISUAL.

El método de inspección visual es el más ampliamente usado, debido a su simplicidad, bajo costo y rapidez de aplicación. Por medio de este método es posible predecir, en cierto grado, el comportamiento de la junta durante su período de servicios, por medio de una observación cuidadosa hecha por inspectores -- debidamente preparados.

Para tener una base adecuada con que juzgar la calidad de una soldadura, la inspección visual debe comprender todas las etapas del proceso de soldadura; el material debe ser examinado antes, durante el proceso y una vez terminada la junta los tubos deben ser examinados antes de ser soldados, sobre todo en las caras o preparaciones en las que se efectuará la junta, con objeto de determinar hojeaduras, incrustaciones de elementos -- extraños o algún otro defecto que no haya sido localizado en la inspección de la tubería en la planta.

El examen de la junta durante el proceso de soldadura, da una buena información de su calidad. Debe vigilarse el tipo de polaridad de la corriente, que la intensidad y el voltaje usados estén de acuerdo con las especificaciones para el tipo de --

trabajo de la junta y exigirse el uso de electrodos adecuados. - En las soldaduras terminadas es posible tener idea de su calidad por su apariencia externa. Los filetes deben tener los perfiles-aceptados por el código de la A. W. S..

#### INSPECCION RADIOGRAFICA.

La inspección radiográfica sirve para mostrar la presencia y naturaleza de algunos de los defectos que existen en el interior de la soldadura, en ella se usan la capacidad que tienen -- las radiaciones de onda corta, como los rayos "X" y los rayos gamma para pasar a través de objetos opacos, en general mientras -- menor sea la longitud de la onda, es mayor su poder de penetración. No toda la radiación pasa a través de la soldadura, partes absorbida, dependiendo la absorción de la densidad y espesor de ésta. Si existe una cavidad en la soldadura, tal como una burbuja de gas o en material menos denso incrustado, que puede ser escoria, la radiación tiene que atravesar menos metal que cuando se trata de una soldadura sana, reduciéndose la absorción de los rayos en la zona defectuosa. La variación en la intensidad de la radiación se registra en una película sensitiva colocada en el -- lado opuesto de la soldadura a aquel en que insiden los rayos -- emitidos por una fuente apropiada.

Las regiones de menor densidad aparecen impresas en la -- película, como zonas más oscuras, pudiéndose determinar con una interpretación adecuada, el tipo de defectos existentes. La radiografía no pone de relieve la presencia de grietas microscópicas, pero es un excelente medio de determinar la existencia de -- porosidades, inclusiones de escoria, faltas de penetración, faltas de fusión y grietas microscópicas.

Los poros o burbujas de gas aparecen como puntos oscuros -- más o menos redondos y aislados, las inclusiones de escoria tienen formas más irregulares. La falta de penetración se aprecia como una línea oscura más o menos delgada interrumpida o continua generalmente sobre el centro de la soldadura. La falta de fu sión se observa como una franja un poco más ancha y más frecuentemente en los bordes de la soldadura. Las grietas aparecen como rayos en cualquier dirección.

Lo anterior es solamente una indicación de la forma en que quedan registrados los defectos ya que las interpretaciones de las radiografías deben ser hechas por personas enteradas que -- conozcan el proceso y método seguido en la elaboración de las soldaduras objeto de la inspección.

Como fuente emisora puede usarse un aparato de rayos "x" -- que da radiografías de gran contraste y nitidez. Los aparatos -- comerciales son caros y difíciles de colocar y mover, por lo -- que sólo son útiles en algunos casos especiales, sobre todo -- cuando se trata de placas de pequeño espesor. En la radiografía industrial, es mas frecuente el uso de fuentes emisoras de radiaciones constituidas por pequeñas cápsulas de polvo radiactivo que son subproducto de los reactores atómicos.

Generalmente se usan en cápsulas de cesium o cobalto 60 -- que emiten radiaciones muy penetrantes llamados rayos gamma, -- los cuales atraviesan fácilmente placas de espesor considerable. Comercialmente estas cápsulas tienen intensidades de 3 a 5 unidades curie, son fáciles de transportar y colocar aún en lugares estrechos o poco accesibles, su manejo y almacenamiento requiere un cuidado especial, el operador debe ir protegido con peto y guantes que tienen delgadas placas de plomo, debe estar previsto de un aparato que registre las radiaciones absorbidas por él limitándose la cantidad diaria o semanal que puede admitir.

En México estas cápsulas son controladas por la Comisión de Energía Nuclear, periódicamente los depósitos son registrados -- con contadores Geiger, marcando las zonas peligrosas a su alrededor.

#### METODO DE MAGNA FLUX.

El método de magna flux es aplicable para la localización de grietas y discontinuidades en la superficie de la soldadura o muy cerca de ella, para encontrar este defecto se induce un campo magnético en la pieza por medio de una corriente eléctrica de alto amperaje, esto se logra enrollando un alambre en la pieza y conectándolo a una máquina soldadora, que produce una corriente con las características requeridas. Sobre la zona a inspeccionar, se riega limadura o polvo de hierro, cuando alguna grieta u otro tipo de discontinuidad interrumpe el campo, las partículas magnéticas se acumulan en los bordes formando una línea, marcando el defecto.

#### METODO CON PRUEBAS ULTRASONICAS.

Las vibraciones ultrasónicas son usadas para localizar -- pequeños defectos interiores en objetos metálicos ferrosos o -- no ferrosos plásticos, etc., la onda se origina por medio de una vibración mecánica muy rápida y se propaga sin pérdidas -- apreciables en un material homogéneo, reflejándose cuando encuentra una discontinuidad en el material. La gamma de frecuencias emitida, varía de 0.5 a 5 millones de ciclos por segundo, formando un haz delgado que permite la localización aun de pequeños defectos.

#### INSPECCION POR MEDIO DE ACEITE PENETRANTE.

La inspección por medio de aceite penetrante sirve para -- poner de manifiesto defectos superficiales, generalmente son -- preparaciones coloreadas que al aplicarse marcan la presencia de grietas u otros defectos similares, como se puede apreciar -- en las notas anteriores la inspección juega un papel preponderante para la producción de buena soldadura, ya que las soldaduras defectuosas son las principales causas de las fallas en las tuberías actualmente en servicio .

Con el fin de evitar que la tubería se dañe con las dilataciones y contracciones producidas por los cambios de temperatura, se debe limitar la longitud máxima de las secciones soldadas de tubería (lingadas) de acuerdo con el diámetro de la misma, el clima del lugar y la organización de la compañía ---

constructora. Normalmente se dejan lingadas de 3 Km. de longitud aproximadamente y completamente selladas en sus extremos, con el objeto de evitar que se introduzca algún animal o cualquier otro objeto extraño.

#### 4.8 PRUEBA CON AIRE.

Para asegurar la limpieza interior del tubo se corre un - - "diablo" (Scraper) con aire comprimido dentro de la tubería soldada. Los extremos de las secciones se cerrarán inmediatamente - después del paso del "diablo" y se probarán a una presión 100 -- lbs/pulg.<sup>2</sup> .

Se investigarán posibles fugas en las soldaduras con espuma de jabón detergente, estas pruebas se hacen con la tubería fuera de la cepa y descansando sobre durmientes de madera para facilitar la inspección de la parte inferior de las juntas.

#### 4.9 LIMPIEZA DE LA TUBERIA.

La limpieza exterior se debe llevar a cabo estando la tubería perfectamente seca, con el objeto de eliminar totalmente el óxido, por medio de máquinas rasqueteadoras del tipo viajero, -- completando la limpieza con cepillos y rasquetas de mano donde - la máquina no lo haya hecho. La velocidad de la máquina debe ser regulada para que se obtenga una superficie satisfactoriamente - limpia.

#### 4.10 PINTURA ANTICORROSIVA (PRIMER).

Sobre la tubería limpia y seca se debe aplicar la pintura - base, por medio de una máquina pintadora del tipo viajero, uni-- formemente en todo su perímetro. Después se debe colocar la tube-- ría sobre durmientes completamente limpios, a una altura adecuada, para dejarla socar hasta un punto tal que garantice una perfecta adherencia entre la tubería y el esmalte. Las partes del - tubo que la máquina no haya pintado correctamente, se lleva a ca-- bo manualmente, resanando perfectamente todas las fallas.

#### 4.11 ESMALTADO ( ANTICORROSIVO).

Las calderas para fundir el esmalte deben ser del tipo y - capacidad adecuada, además deben estar provistas de agitadores- mecánicos y termómetros apropiados para esta clase de trabajo.- El número de calderas debe ser suficiente para que el esmalte,- mantenido a una temperatura correcta de aplicación, sea coloco- do sobre la tubería en forma de película continua e ininterrum- pida por medio de una máquina esmaltadora del tipo viajero.

La temperatura del esmalte al aplicarse, debe ser tal, que tenga la fluidez necesaria para su aplicación. Esta temperatura estará comprendida entre 190° C (390° F) y 238° C (460° F), depen- diendo de las condiciones del medio ambiente.

#### 4.12 ENVOLTURA DE LA TUBERIA.

Al mismo tiempo que se va colocando el esmalto, se forrará la tubería en forma espiral con tela de fibra de vidrio (vidrio flex) o similar, de manera que este forro quede embebido en el- esmalte sin mostrar arrugas ni torcimientos y quedando próximo- a la superficie del mismo. Simultáneamente debe colocarse una - envoltura final de un fieltro asbéstico (vidromat), obteniéndose un recubrimiento anticorrosivo con un espesor mínimo de 2.60 mm. (0.105"). Enseguida se verificará este espesor (como prueba únicamente) mediante un espesor de profundidad de hoyos (depth- pit gauge) y la continuidad del esmalte con un detector eléctri- co de fallas (holiday detector) que deberá producir un arco vol- taico mínimo igual al espesor del recubrimiento. Estas fallas - encontradas serán inmediatamente reparadas antes de instalar la tubería en el fondo de la zanja.

#### 4.13 BAJADO Y TAPADO DE LA TUBERIA.

Una vez que haya sido soldada la tubería y protegida con - material anticorrosivo, se procede a la instalación de la línea principal, es decir, no incluyendo instalaciones especiales, -- estas maniobras se llevaran acabo con los equipos apropiados y- acondicionados de tal manera que nos permita el manejo de la tu- bería sin dañar sus revestimientos, observando cuidadosamente -

el fondo de la zanja que no contenga piedras o irregularidades que signifiquen puntos de concentración de cargas. Es muy importante que la tubería sea instalada durante las horas de más baja temperatura, preferentemente por las mañanas, para que la tubería no trabaje a la tensión.

En los lugares excavados en roca o tepetate duro, se debe preparar una capa de material que pueda darle un apoyo uniforme al tubo, dicha capa debe ser de un material inerte y suave, pudiendo ser tierra o similar.

#### 4.14 BAJADO Y TAPADO DEL SLACKS LOOP.

Para asegurarnos todavía mejor de que la tubería no queda trabajando a la tensión, deben dejarse a intervalos definidos (en terreno plano y condiciones normales de trabajo), porciones de tubería sobresaliente de la zanja, apoyada sobre durmientes, de tal manera que salga del nivel del piso original, formando curvas verticales (slacks-loop) dentro de la flexibilidad natural de la tubería. A cada lado de estas curvas verticales, en los sitios donde la tubería se asiente nuevamente en el fondo de la zanja, debe anclarse perfectamente la línea, tapando y consolidando a ambos lados a partir de los puntos citados. Posteriormente se procede a bajar estas porciones de tubería, en las horas del día cuando la temperatura sea mínima, evitando que la tubería nos quede calzada.

Para el tapado completo de la tubería, se debe usar siempre un material suave, para luego compactarse perfectamente.

#### 4.15 CRUZAMIENTOS CON CARRETERAS Y VIAS DE FERROCARRIL.

Los cruzamientos con carreteras o vías de ferrocarril, deben hacerse pasando la línea dentro de tubos de protección, apoyando el gasoducto en aisladores distribuidos de acuerdo con el diámetro de la tubería. El espacio anular entre el tubo del gasoducto y el tubo de protección debe sellarse en los dos extremos. Los agujeros sobre la tubería de protección (camisa) en los lugares donde se localicen las ventilas, así como las soldaduras de las mismas, deben hacerse antes de introducir la tubería (del gasoducto) ya con su envoltura, a fin de evitar que se quemé este recubrimiento. Para evitar que el espacio --

anular que quede libre entre el gasoducto y la camisa se ensucie o llene de agua, debe procurarse la rápida instalación de los -- sellos en ambos extremos.

En todos los casos debe usarse el sistema de túnel en vez -- del de zanja para llevar a cabo estos cruzamientos, de tal manera que la camisa quede con un colchón de protección no menos de 1.50 mts. contados a partir del nivel del pavimento o durmiente de la vía de ferrocarril.

El diámetro de la tubería protectora (camisa), se diseñará de 4" a 6" mayor que el diámetro de la tubería conductora, variando el espesor de la misma de acuerdo con las cargas móviles, tipo de material del terreno y profundidad a la que se coloque. -- La camisa de protección del cruzamiento, se colocará de una longitud tal que libre el terraplén de modo que quede un espacio -- suficiente entre los extremos de la camisa y el talud que permitan en caso de alguna ampliación de la vía de comunicación, que la tubería quede debidamente protegida, buscándose además que en caso de alguna reparación se pueda extraer la tubería conductora, sin obstruir el tránsito.

El Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute - A.P.I.), recomienda que la longitud de la camisa deberá ser del ancho total del derecho de vía de la obra que se cruce, -- esto es como mínimo, por lo que queda a criterio del proyectista determinar esta longitud, únicamente deberá tomarse en cuenta -- que quede debidamente protegida la tubería conductora, previendo cualquier obra adicional en estas mismas vías de comunicación.

#### 4.16 CRUZAMIENTO DE CORRIENTES DE AGUA.

En los casos en que hay que cruzar corrientes de agua (arroyos, canales, drenes, etc.), por lugares por donde no haya puentes o estructuras utilizables, el cruzamiento se debe hacer teniendo la tubería bajo el cauce de la corriente en forma semejante a la instalación general de la tubería, enterrándola en el -- fondo, a una profundidad que garantice que la tubería quede fuera de la posible erosión del fondo del cauce.

En todos los casos se evita la colocación de curvas en el fondo de las corrientes de agua que se atraviesan, procurando siempre que la "lingada" del cruce sea recta, de tal manera -- que sus extremos queden perfectamente empotrados en los bancos de los arroyos o en los taludes de los canales, o drenes.

En los cruzamientos de ríos, la tubería debe colocarse en el fondo del cauce, igualmente que en el caso anterior. Las características del río, tales como la anchura de la corriente, tipo de material del fondo del cauce, altura de las márgenes, amplitud y fuerza de las inundaciones, determinan el tipo de cruzamiento. Por ejemplo, en un río con márgenes bajas y un -- amplio valle arenoso a los lados, cualquier fuerte avenida -- pueda provocar una gran inundación y socavaciones en el terreno, en este caso el gasoducto debe ser instalado a una profundidad, en la cual quede a salvo de los efectos de las crecientes. En cambio en un río con márgenes altas y rocosas puede -- sobrepasar éstas, en una creciente muy grande, pero el terreno mismo impide la inundación.

En los grandes cruzamientos se colocan dos o más líneas, -- para asegurar la continuidad del servicio, ya que si una línea se daña, se utilizan las otras (By-Pass).

Para evitar que la tubería flote, se deben colocar, ya -- sea contrapesos de concreto o forrarla completamente de concreto, con el fin de darle mayor peso a la línea y evitarnos tubos voluminosos. La tubería puede ser colocada en su debido sitio por medio de anclas de acero.

De cualquier modo, en cada cruzamiento deben tomarse en -- consideración para proyectarlo, las condiciones de la corriente y la densidad del material o fluido que va a poseer la tubería, ya que una tubería colocada en agua salada o agua saturada de sedimentos, fango, etc., requiere de mayor número de contrapesos que una colocada en agua clara y limpia relativamente sobre un lecho rocoso.

En corrientes navegables, las autoridades fijan la profundidad a que debe ser alojada la tubería. En general, en cualquier terreno (excepto roca), es suficiente un colchón mínimo, -- sobre la corona de la tubería de 2 metros; en fondo rocoso puede ser menor. Este colchón o recubrimiento debe medirse a par-

tir del punto más bajo del lecho del río, sobre todo en ríos - poco profundos. Cuando se crucen corrientes o ríos de temporal los cuales no tienen cauce definido, la tubería debe ser instalada a través del valle y a una profundidad que quede segura, aún cuando cambie el cauce del río.

El método a seguir para la instalación de la tubería depende de las circunstancias y condiciones del caso. Al mismo tiempo que se esté preparando la zanja, se deben preparar las lingadas en las márgenes del río, siguiendo el mismo procedimiento y especificaciones explicadas anteriormente para la soldadura, inspección de la soldadura y revestimiento anticorrosivo; construyendo lingadas que dependen del espacio disponible y longitud del cruzamiento. Construidas dichas lingadas, se procede a inspeccionarlas probándolas hidrostáticamente, como se verá más adelante.

En seguida se debe proceder a revestir completamente de concreto la tubería o lastrarla según el caso. Una vez sellada en sus extremos dichas lingadas, se empieza a su instalación en la zanja, colocándolas en el sitio del cruzamiento, ya por medio de lanchones con equipo especial para el manejo de la tubería o empujándolas para colocarlas en su sitio.

El sistema a emplear depende de la anchura y profundidad de la corriente; se puede construir una rampa de madera, la cual es sujeta al lanchón y que en esta forma la tubería se desliza dentro del agua con el ángulo adecuado. En corrientes anchas y profundas se emplean flotadores para suspender la tubería sobre la superficie del agua, hasta que alcance la otra margen del río. Se emplean remolques para desplazar la tubería lentamente hasta centrarla y hacerla coincidir con la zanja, - en este preciso instante se cortan los flotadores y la tubería debe quedar instalada.

La posición de la tubería se verifica por medios directos, cuando esto sea posible, o con procedimientos electrónicos --- (Eco-Sonda), luego se procede a taparla. Generalmente se deben instalar válvulas de seccionamiento (cabezales) en ambos lados del río, con el fin de que en cualquier emergencia, aislar completamente el cruzamiento.

PROCEDIMIENTO DE CALCULO DEL CONTRAPESO TIPO 1 (SILLETA RECTANGULAR), PARA CRUZAMIENTO DE ZONAS INUNDABLES. Dibujo No. 4.4

Obtención de la fuerza total de flotación, transversal, que actúa sobre la tubería:

$$F = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) W_a$$

Cálculo de la fuerza de flotación neta, unitaria, que actuará sobre la tubería:

$$f = F - W_t$$

Fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en una longitud "X" entre contrapesos:

$$F_x = (f)(X)$$

Determinación del volumen de concreto armado que se requiere -- para equilibrar la fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en un tramo "X" entre contrapesos:

$$V = \frac{F_x}{W_c}$$

Obtención de la fuerza de empuje de flotación que ejerce el agua en el contrapeso:

$$F_1 = V (W_c - W_a)$$

Obtención de la fuerza de flotación neta ejercida a lo largo de la tubería en una distancia "X" entre contrapesos:

$$F_2 = F_x - F_1$$

Obtención de la fuerza o peso requerido para contrarrestar la fuerza de flotación "  $F_2$  " :

$$F_3 = F_x + F_1$$

Cálculo del volumen de concreto armado que se requiera como --- contrapeso:

$$V_c = \frac{F_3}{W_c}$$

Determinación del diámetro exterior del tubo, incluyendo el espesor del recubrimiento anticorrosivo:

$$D_t = D + 2E_a$$

Determinación del diámetro interno del contrapeso que se requiere para su montaje en la tubería:

$$D_i = D_t + 2H$$

Obtención del área total de la sección transversal del contrapeso, incluyendo el área libre por donde pasará la tubería:

$$a = D_i + 0.40$$

$$b = 2D_i$$

$$A_T = ab$$

Cálculo del área neta transversal de concreto armado del contra  
peso:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi D_i^2}{4} \right)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (D_i)^2$$

$$A_c = A_1 + A_2$$

$$A_f = A_r - A_c$$

Determinación de la longitud del contrapeso:

$$L = \frac{V_c}{A_f}$$

Obtención del peso total del contrapeso o ailleta:

$$W = V_c W_c$$

#### NOTACION

$A_1$  = área de la mitad del círculo interno del contrapeso [m<sup>2</sup>]

$A_2$  = área de la mitad del cuadrado interno del contrape-  
so [m<sup>2</sup>]

$A_c$  = área libre transversal del contrapeso [m<sup>2</sup>]

$A_f$  = área neta transversal de concreto armado del contra  
peso [m<sup>2</sup>]

$A_r$  = área total de la sección transversal del contrapeso [m<sup>2</sup>]

$a$  = ancho de la sección transversal del contrapeso [m]

$b$  = altura de la sección transversal del contrapeso [m]

$D$  = diámetro exterior de la tubería [m]

$D_i$  = diámetro interno del contrapeso que se requiere para  
su montaje en la tubería [m]

- $D_t$  = diámetro exterior del tubo, incluyendo el espesor del recubrimiento anticorrosivo [m]
- $E_a$  = espesor del recubrimiento anticorrosivo [m]
- $F$  = fuerza total de flotación, transversal, que actúa sobre la tubería [Kg.]
- $F_1$  = fuerza de empuje que recibe el contrapeso por flotación [Kg.]
- $F_2$  = fuerza neta de empuje por flotación, ejercida a lo largo de la tubería en una distancia "X" entre contrapesos [Kg.]
- $F_3$  = fuerza o peso requerido para contrarrestar la fuerza de flotación " $F_2$ " [Kg.]
- $F_x$  = fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en un tramo "X" entre contrapesos [Kg.]
- $f$  = fuerza de flotación unitaria, neta, que actúa sobre la tubería [Kg.]
- $H$  = holgura que se requiere entre el contrapeso y la tubería, para efectos de montaje [m.]
- $L$  = largo del contrapeso [m.]
- $V$  = volumen de concreto armado [ $m^3$ ]
- $V_c$  = volumen de concreto armado que se requiere como contrapeso [ $m^3$ ]
- $X$  = distancia entre dos contrapesos [m.]
- $W$  = peso total del contrapeso o silleta [Kg.]
- $W_a$  = peso volumétrico del líquido de la corriente [ $Kg/m^3$ ]
- $W_c$  = peso volumétrico del concreto armado [ $Kg/m^3$ ]
- $W_t$  = peso de la tubería por unidad de longitud [ $Kg/m.$ ]

EJEMPLO No. 1 :

Cálculo de un contrapeso Tipo 1 (sillo Rectangular) para cruzamiento de zonas inundables:

DATOS:

$$D = 457.2 \text{ mm. (18")}$$

$$T = 10.87 \text{ mm. (0.438")}, \text{ espesor de la pared de la tubería}$$

$$W_i = 122.11 \text{ Kg/m. (82.06 lbs./pie)}$$

$$W_a = 1500 \text{ Kg/m}^3 \text{ (93.6 lbs./pie}^3\text{)}$$

La fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en un líquido con un peso volumétrico  $W_a = 1500 \text{ Kg/m}^3$ , se obtiene de las fórmulas:

$$F = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) W_a$$

$$F = \frac{(3.1416)(0.4572)^2}{4} (1500)$$

$$F = 246.26 \text{ Kg. -----flotación total}$$

$$f = F - W_i$$

$$f = 246.26 - 122.11$$

$$f = 124.15 \text{ Kg/m. -----flotación neta}$$

Se ha visto con la práctica que el espaciamiento entre contrapesos debe ser mayor de 5.00 m., ya que una distancia menor que ésta traería como consecuencia por razones prácticas y económicas, otro tipo de lastre.

Así, colocaremos contrapesos a cada 5.00 m. ( $X = 5.00 \text{ m.}$ ) y la fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en ese tramo, es:

$$F_x = (f)(X)$$

$$F_x = (124.15)(5.00)$$

$$F_x = 620.75 \text{ Kg. -----flotación entre contrapesos}$$

Como esta fuerza se va a equilibrar con contrapesos de concreto armado, el volumen de concreto necesario para lograr ese equilibrio, es:

$$V = \frac{F_x}{W_c}$$

considerando el peso volumétrico del concreto armado  $W_c = 2500 \text{ Kg/m}^3$

$$V = \frac{620.75}{2500}$$

$$V = 0.2483 \text{ m}^3$$

Al colocar el contrapeso, sufrirá también un empuje por -- flotación, que es igual al volumen por la diferencia de pesos -- volumétricos del contrapeso de concreto y el del líquido de la corriente, esto es:

$$F_1 = V(W_c - W_a)$$

$$F_1 = 0.2483 (2500 - 1500)$$

$$F_1 = 248.30 \text{ Kg.}$$

el peso desalojado es:

$$F_2 = F_x - F_1$$

$$F_2 = 620.75 - 248.30$$

$$F_2 = 372.45 \text{ Kg.}$$

y por lo tanto, el peso requerido es:

$$F_3 = F_x + F_2$$

$$F_3 = 620.75 + 372.45$$

$$F_3 = 993.20 \text{ Kg.}$$

y por consiguiente el volumen requerido de concreto armado es:

$$V_c = \frac{F_3}{W_c}$$

$$V_c = \frac{993.20}{2500}$$

$$V_c = 0.39728 \text{ m}^3$$

Cálculo del área total de la sección transversal:

Debido a las variaciones de espesor en la capa total de protección anticorrosiva, se puede considerar  $E_a = 0.01$  m., por lo que, el diámetro total exterior del tubo es:

$$D_i = D + 2 E_a$$

$$D_i = 0.4572 + 2(0.01)$$

$$D_i = 0.4772 \text{ m.}$$

por los efectos de montaje es recomendable tomar una holgura  $H = 0.014$  m., luego el diámetro de montaje es:

$$D_1 = D_i + 2 H$$

$$D_1 = 0.4772 + 2 (0.014)$$

$$D_1 = 0.505 \text{ m.}$$

$$a = D_1 + 0.40$$

$$a = 0.505 + 0.40$$

$$a = 0.905 \text{ m.}$$

$$b = 2 D_1$$

$$b = 2 (0.505)$$

$$b = 1.01 \text{ m.}$$

$$A_r = a \cdot b$$

$$A_r = (0.905) (1.01)$$

$$A_r = 0.9140 \text{ m}^2$$

Cálculo del área neta transversal de concreto armado del contrapeso:

$$A_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$A_1 = \frac{1}{2} \left[ \frac{(3.1416)(0.505)^2}{4} \right]$$

$$A_1 = 0.1001 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (D_1)^2$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (0.505)^2$$

$$A_2 = 0.1275 \text{ m}^2$$

$$A_c = A_1 + A_2$$

$$A_c = 0.1001 + 0.1275$$

$$A_c = 0.2276 \text{ m}^2$$

$$A_f = A_T - A_c$$

$$A_f = 0.9140 - 0.2276$$

$$A_f = 0.6864 \text{ m}^2$$

Determinación de la longitud del contrapeso:

$$L = \frac{V_c}{A_f}$$

$$L = \frac{0.39728}{0.6864}$$

$$L = 0.578 \text{ m.}$$

se toma

$$L = 0.60 \text{ m.}$$

volumen final:

$$V = ( A_f ) L$$

$$V = ( 0.6864 ) ( 0.60 )$$

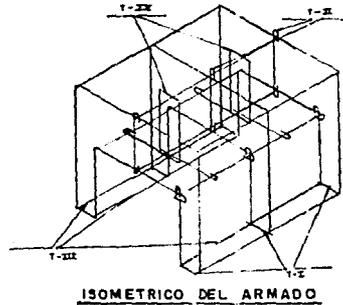
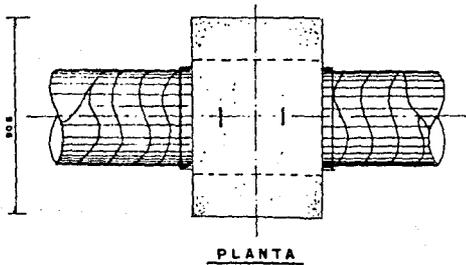
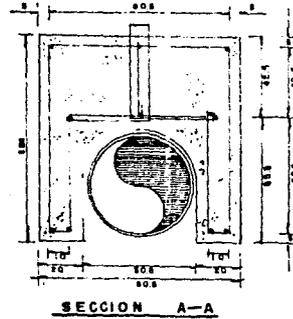
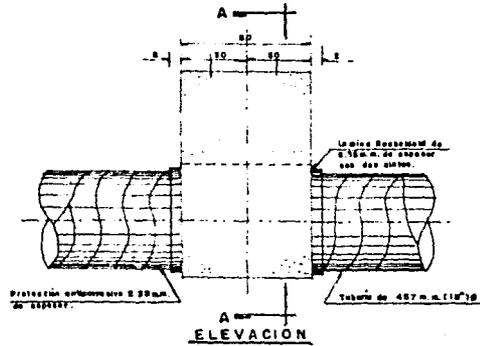
$$V = 0.411840 \text{ m}^3$$

peso total, final, del contrapeso o silleta rectangular:

$$W = V \gamma_c$$

$$W = ( 0.411840 ) ( 2500 )$$

$$W = 1029.60 \text{ Kg.}$$



**NOTAS**

- 1.- Acabados de cm. sobre las paredes ..... 1.6
- 2.- Densidad del líquido en el cemento ..... 1.6
- 3.- Representación máxima de espesores ..... 80 m.
- 4.- No escala

LISTA DE MATERIALES										
<p>TIPO I</p>					<p>TIPO II</p>					
<p>TIPO III</p>					<p>TIPO IV</p>					
TIPO	CAN.	ESPA.	A	B	C	D	E	F	ESPESOR	PEROEN
I	8	m. 8	10	10	10	10	10	10	4.70	1.10
II	8	m. 8	10	10	10	10	10	10	0.888	3.00
III	10	m. 8	10	10	10	10	10	10	0.80	5.00
IV	8	m. 8	10	10	10	10	10	10	2.17	4.34
									TOTAL	21.80
ALAMBRE RECOCIDO No 16									0.80 kg	
CONCRETO f'c 210 kg/cm <sup>2</sup>									0.412 m <sup>3</sup>	
LAMINA BERMFIELD 1.44 x 0.70 x 1/4" espesor									1.008 m <sup>2</sup>	
P.E.R.O. TOTAL									1018 80 kg.	

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LAS LINEAS  
 DE TRANSMISION DE HIDROCARBUROS.  
 CONTRAFESO DE CONCRETO ARMADO  
 TIPO I, SILLETA RECTANGULAR  
 TESIS PROFESIONAL  
 ALVARO ADELAZO ORTIZ CALLEJAS  
 México, D.F. 1978 Dibujo No. 44

PROCEDIMIENTO DE CALCULO DEL CONTRAPESO TIPO 2 ( ENVOLVENTE ) -  
PARA CRUZAMIENTO DE CORRIENTES. DIBUJO No. 4.5

Obtención de la fuerza total de flotación, transversal, que - -  
actua sobre la tubería:

$$F = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) W_a$$

Cálculo de la fuerza de flotación neta, unitaria, que actua so-  
bre la tubería:

$$f = F - W_t$$

Fuerza de flotación que actua sobre la tubería en una longitud-  
"X" entre contrapesos:

$$F_x = (f) (X)$$

Determinación del volumen de concreto armado que se requiere pa-  
ra equilibrar la fuerza de flotación que actua sobre la tubería  
en un tramo "X" entre contrapesos:

$$V = \frac{F_x}{W_c}$$

Obtención de la fuerza de empuje de flotación que ejerce el - -  
agua en el contrapeso:

$$F_1 = V (W_c - W_a)$$

Obtención de la fuerza de flotación neta, ejercida a lo largo -  
de la tubería en una distancia "X" entre contrapesos:

$$F_2 = F_x - F_1$$

Obtención de la fuerza o peso requerido para contrarrestar la fuerza de flotación "F<sub>2</sub>" :

$$F_3 = F_x + F_2$$

Cálculo del volumen de concreto armado que se requiere como contrapeso:

$$V_c = \frac{F_3}{W_c}$$

Determinación del diámetro exterior del tubo, incluyendo el espesor del recubrimiento anticorrosivo:

$$D_t = D + 2E_a$$

Determinación del diámetro interno del contrapeso que se requiere para su montaje en la tubería:

$$D_i = D_t + 2H$$

Obtención del área total de la sección transversal del contrapeso, incluyendo el área libre por donde pasará la tubería (se trata de un exágono):

$$A_r = (2.598)(l)^2$$

Cálculo del área neta transversal de concreto armado del contrapeso:

$$A_i = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

$$A_f = A_r - A_i$$

Determinación de la longitud del contrapeso:

$$L = \frac{V_c}{A_f}$$

Obtención del peso total del contrapeso o envoltente de concreto armado:

$$W = (V_c)(W_c)$$

NOTACION

- $A_i$  = área del círculo interno del contrapeso [ $m^2$ ]
- $A_f$  = área neta transversal de concreto armado del contrapeso [ $m^2$ ]
- $A_T$  = área total de la sección transversal del contrapeso [ $m^2$ ]
- $D$  = diámetro exterior de la tubería [m.]
- $D_i$  = diámetro interno del contrapeso que se requiere para su montaje en la tubería [m.]
- $D_t$  = diámetro exterior del tubo, incluyendo el espesor del recubrimiento anticorrosivo [m.]
- $E_a$  = espesor del recubrimiento anticorrosivo [m.]
- $F$  = fuerza total de flotación, transversal, que actúa sobre la tubería [Kg.]
- $F_1$  = fuerza de empuje que recibe el contrapeso por flotación [Kg.]
- $F_2$  = fuerza neta de empuje por flotación ejercida a lo largo de la tubería en una distancia "X" entre contrapesos [Kg.]
- $F_3$  = fuerza o peso requerido para contrarrestar la fuerza de flotación " $F_2$ " [Kg.]
- $F_x$  = fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en un tramo "X" entre contrapesos [Kg.]
- $f$  = fuerza de flotación unitaria, neta, que actúa sobre la tubería [Kg.]
- $H$  = holgura que se requiere entre el contrapeso y la tubería para efectos de montaje [m.]
- $l$  = longitud de uno de los lados de un contrapeso de forma exágonal [m.]
- $L$  = Largo del contrapeso [m.]
- $V$  = volumen de concreto armado [ $m^3$ ]
- $V_c$  = volumen de concreto armado que se requiere como contrapeso [ $m^3$ ]

X = distancia entre contrapesos [m.]

W = peso total del contrapeso o silleta [Kg.]

W<sub>a</sub> = peso volumétrico del líquido de la corriente [Kg/m<sup>3</sup>]

W<sub>c</sub> = peso volumétrico del concreto armado [Kg/m<sup>3</sup>]

W<sub>t</sub> = peso de la tubería por unidad de longitud [Kg/m.]

EJEMPLO No. 2:

Cálculo de un contrapeso tipo 2 (Envolvente) para cruzamiento de corrientes.

DATOS:

$$D = 457.2 \text{ mm. (18")}$$

$$t = 10.87 \text{ mm. (0.438")}, \text{ espesor de la pared de la tubería.}$$

$$W_t = 122.11 \text{ Kg/m. (82.06 lbs/plie)}$$

$$W_a = 1500 \text{ Kg/m}^3 \text{ (93.6 lbs./pie}^3\text{)}$$

La fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en un líquido con un peso volumétrico  $W_a = 1500 \text{ Kg/m}^3$ , se obtiene de las fórmulas:

$$F = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) W_a$$

$$F = \frac{(3.1416)(0.4572)^2}{4} (1500)$$

$$F = 246.26 \text{ Kg.} \text{-----flotación total.}$$

$$f = F - W_t$$

$$f = 246.26 - 122.11$$

$$f = 124.15 \text{ Kg/m.} \text{-----flotación neta.}$$

Colocaremos contrapesos a cada 5.00 m. ( $X = 5.00$  m) y la fuerza de flotación que actúa sobre la tubería en ese tramo, es:

$$F_x = (f) (X)$$

$$F_x = (124.15)(5.00)$$

$$F_x = 620.75 \text{ Kg. -----flotación entre contrapesos.}$$

Como esta fuerza se va a equilibrar con contrapesos de concreto armado, el volumen de concreto necesario para lograr ese equilibrio, es:

$$V = \frac{F_x}{W_c}$$

Considerando el peso volumétrico del concreto armado  $W_c = 2500 \text{ Kg/m}^3$ .

$$V = \frac{620.75}{2500}$$

$$V = 0.2483 \text{ m}^3.$$

Al colocar el contrapeso, sufrirá también un empuje por ---flotación, que es igual al volumen por la diferencia de pesos volumétricos del contrapeso de concreto y el del líquido de la corriente, esto es:

$$F_1 = V (W_c - W_a)$$

$$F_1 = 0.2483 (2500 - 1500)$$

$$F_1 = 248.30 \text{ Kg.}$$

el peso desalojado es:

$$F_2 = F_x - F_1$$

$$F_2 = 620.75 - 248.30$$

$$F_2 = 372.45 \text{ Kg.}$$

y por lo tanto, el peso requerido es:

$$F_3 = F_1 + F_2$$

$$F_3 = 620.75 + 372.45$$

$$F_3 = 993.20 \text{ Kg.}$$

y por consiguiente el volumen requerido de concreto armado es:

$$V_c = \frac{F_3}{W_c}$$

$$V_c = \frac{993.20}{2500}$$

$$V_c = 0.39728 \text{ m}^3$$

Cálculo del área total de la sección transversal:

Debido a las variaciones de espesor en la capa total de -- protección anticorrosiva, se puede considerar  $E_a = 0.01 \text{ m.}$ , -- por lo que, el diámetro total exterior del tubo es:

$$D_t = D + 2 E_a$$

$$D_t = 0.4572 + 2(0.01)$$

$$D_t = 0.4772 \text{ m.}$$

por los efectos de montaje es recomendable tomar una holgura --  $H = 0.014 \text{ m.}$ , luego el diámetro de montaje es:

$$D_i = D_t + 2H$$

$$D_i = 0.4772 + 2(0.014)$$

$$D_i = 0.505 \text{ m.}$$

el área total de la sección transversal del contrapeso es:

$$A_T = (2.598) (l)^2$$

en donde:

$l$  = longitud de uno de los lados de un contrapeso de --  
forma exágonoal

$$l = 0.5225 \text{ m.}$$

$$A_T = (2.598)(0.5225)^2$$

$$A_T = 0.7092 \text{ m}^2$$

Cálculo del área neta transversal de concreto armado del contrapeso:

$$A_1 = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{(3.1416)(0.505)^2}{4}$$

$$A_1 = 0.2002 \text{ m}^2$$

$$A_f = A_T - A_1$$

$$A_f = 0.7092 - 0.2002$$

$$A_f = 0.509 \text{ m}^2$$

Determinación de la longitud del contrapeso:

$$L = \frac{V_c}{A_f}$$

$$L = \frac{0.39728}{0.509}$$

$$L = 0.7805 \text{ m.}$$

se toma:

$$L = 0.80 \text{ m.}$$

Volumen final:

$$V = (A_f) L$$

$$V = (0.509)(0.80)$$

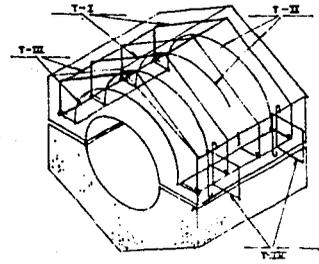
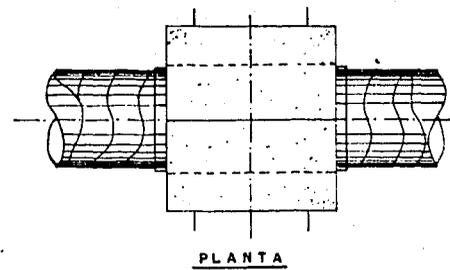
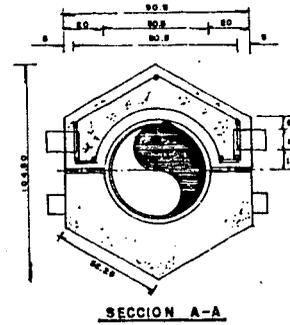
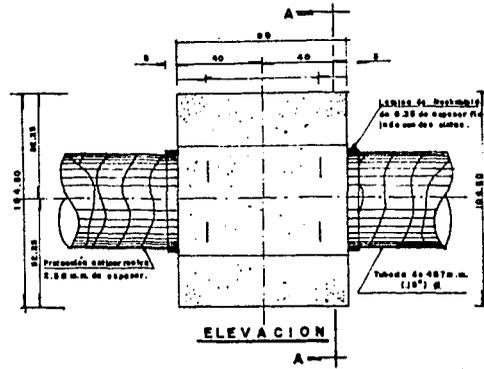
$$V = 0.407 \text{ m}^3$$

peso total, final, del contrapeso o envolvente de concreto armado:

$$W = (V)(W_c)$$

$$W = (0.407)(2500)$$

$$W = 1017.50 \text{ Kg.}$$



**NOTAS**

- 1.- Acotaciones en mm. salvo las indicadas
- 2.- Cantidad del tipo de acero
- 3.- Superficie máxima de contrapeso
- 4.- No existe.

**LISTA DE MATERIALES**

TIPO I

TIPO II

TIPO III

TIPO IV

TIPO	CANT.	S. VAR	LONGITUD					TOTAL	PERMIS.	
			A	B	C	D	E			
I	8	10	48	10	-	10	1.48	118.4	0.82	
II	8	10	72	10	-	10	1.18	94.8	0.58	
III	16	10	70	-	-	-	0.70	11.20	0.48	
IV	8	10	18	14	-	-	0.34	2.72	0.21	
V	8	10	-	-	-	-	1.00	8.00	0.32	
							<b>TOTAL</b>	<b>138.81</b>		
ALAMBRE RECIBIDO No. 10								0.80	33	
CONCRETO f'c 310 kg/cm <sup>2</sup>								0.40	m <sup>3</sup>	
LAMINA ROCKWELL (1.433 x 0.30) 1/4" PERMIS								1.294	m <sup>2</sup>	
<b>P E R O T O T A L</b>									<b>1017.80</b>	<b>12.</b>

**U. N. A. M.**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LAS LINEAS**  
**DE CONDUCCION DE HIDROCARBUROS.**  
**CONTRAPESO DE CONCRETO ARMADO**  
**TIPO 2, ENVOLVENTE**

TESIS PROFESIONAL  
**ANTONIO ADELAIDO OMI MALLERON**  
 México, D. F. 1979      Dibujo No. 4.3

#### 4.17 CRUZAMIENTOS CON PANTANOS:

El procedimiento que generalmente se sigue, es el que a continuación se explica:

Antes que todo se construye la zanja, ya sea con draga o por cualquier otro método semejante, simultáneamente se acondiciona el lugar de maniobras, es decir, el sitio o patio donde la tubería debe soldarse y recubrirse, únicamente las juntas de unión, - ya que la tubería se transportará a este lugar, recubierta de concreto, pues es lo más práctico, ver dibujo No. 4-6.

Una vez construida totalmente la zanja, se procede a soldar la tubería, es decir, sellado uno de los extremos del primer tubo por soldarse, se coloca éste sobre un sistema de rodamiento (previamente diseñado y construido) que se instala a la entrada de la zanja (longitudinalmente). Enseguida se procede a soldar tantos tramos como nos permita su peso y la longitud del pantano, además del equipo utilizado para maniobras. Estas soldaduras se inspeccionan visualmente y por medio de radiografías o cualquier inspección correcta no destructiva; luego se recubren con material anti corrosivo como se explicó anteriormente. Conforme se vaya llevando a cabo la inspección de la tubería, se van empujando o tirando sobre la zanja, sujetando o suspendiendo a la tubería por medio de flotadores, en esta forma se elimina casi totalmente el rozamiento.

Para calcular la cantidad de flotadores o sea la fuerza necesaria para lograr que flote la tubería, se procede tomando en consideración el principio de Arquímedes que nos dice: "Un cuerpo sumergido en un líquido experimenta una pérdida de peso igual al peso del líquido desalojado". Esta fuerza actúa verticalmente hacia arriba y aplicada en el centro de gravedad de la masa líquida desalojada.

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

$$P = (V)(W)$$

$W_t$  = peso del tubo fuera del agua.

Siendo:

V = volumen desalojado

D = diámetro exterior del tubo incluyendo todo su revestimiento.

L = Longitud del tubo.

P = peso del agua desplazada.

W = peso específico del agua.

Así se tiene:

$W_t - P$  = peso del tubo en el agua.

Es decir, el peso del tubo fuera del agua menos el peso del agua desalojada, es igual al peso del tubo en el agua o sea exactamente la fuerza que se tiene que aplicar verticalmente y hacia arriba para mantener a la tubería flotando.

Una vez que toda la lingada se encuentre sobre la zanja y - en la superficie del agua, se separarán los flotadores para que la tubería sea instalada, luego se cubre la tubería con el material producto de la excavación.

#### 4.18 CRUZAMIENTOS AEREOS

Frecuentemente al cruzar el gasoducto en canales, drenes o barrancas profundas, se hace necesario un paso aéreo, ya sea por las condiciones que prevalecen en el lugar o por disposiciones de las autoridades. En un suelo rocoso y profundo, se hace necesario pasar la tubería en forma de sifón, en los cruzamientos de corrientes navegables, el gasoducto debe instalarse a una altura suficiente que permita el tránsito de toda clase de embarcación.

En algunos casos, como por ejemplo, en cruzamientos con sistemas de abastecimientos de agua, se utiliza tubería de protección con el propósito de evitar la contaminación del agua en caso de una fuga de gas. En estas condiciones debe usarse el mismo procedimiento de protección que en los cruzamientos de carreteras y vías de ferrocarril. Debe tenerse en cuenta, además de --- otras fuerzas, el peso extra de la tubería de protección, para diseñar la estructura que va a soportar a la tubería.



Por lo anteriormente expuesto, los cruzamientos aéreos pueden dividirse en dos tipos: una, cuando la propia tubería sin -- incrementar sus esfuerzos pueda salvar el claro y la otra, cuando el claro a librar es de una dimensión muy grande, es necesario una estructura adicional que pueden ser puentes colgantes o puentes de estructura de acero.

Cada uno de estos cruzamientos deben ser objeto de un estudio especial, tomando en cuenta el tipo de suelo en el cual se -- va cimentar, el peso del gas que va a transportarse por la tubería, la presión del viento en las superficies expuestas, niveles de aguas máximas, etc.. En muchos casos es preferible usar tubería de mayor espesor de pared que la tubería utilizada en la línea principal, con el fin de obtener un claro mayor.

Para el caso de cruzamientos en los que se haga únicamente con la tubería conductora, deberán evitarse los movimientos laterales por medio de contravientos (ver dibujo No. 4-7) y éstos serán los únicos accesorios adicionales. A continuación se muestra una tabla en el cual aparecen los claros que pueden salvar -- las tuberías de diferentes diámetros, en forma recta y por lo -- tanto no necesitarán ninguna estructura adicional.

Diámetro del tubo en mm.	Claro en mts.	Diámetro del tubo en mm.	Claro en mts.
152	15.24	406	21.33
203	16.76	457	19.81
254	18.28	508	18.28
304	19.81	558	16.76
355	19.81	610	15.24

En todos estos casos, el tubo podrá sostenerse por sí solo, trabajando como viga.

En todos los casos de cruzamientos aéreos, tanto a los cables como a las estructuras y a la tubería expuesta a la intemperie, debe dárseles una protección anticorrosiva y después pintarla con aluminio para protegerla de los rayos solares.

La tubería que va a ser instalada en un cruzamiento aéreo, debe ser inspeccionada antes de ser soldada o empataada a la línea principal.

#### 4-19 INSTALACIONES DE VALVULAS DE SECCIONAMIENTO

La distribución de las válvulas de seccionamiento se basa en especificaciones, es decir, se toma en consideración el costo del gas que se tendría que desperdiciar en un tramo de 30 kilómetros en caso de una o más reparaciones en dicho tramo y el costo de una válvula de seccionamiento, ya que normalmente se instalan a una distancia precisamente de 30 kilómetros, tomando además como base los lugares despoblados y a la vez accesibles.

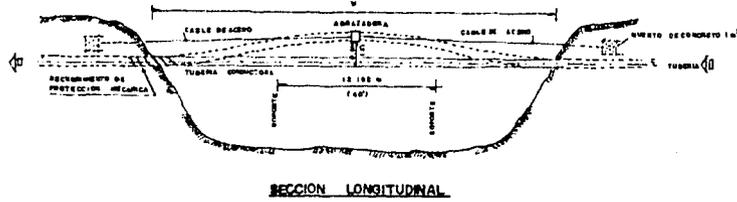
Su instalación se proyecta de acuerdo con el diámetro del gasoducto esencialmente y se lleva a efecto mediante planos respectivos.

Su función primordial es, como su nombre lo indica, seccionar la línea con el fin de que en el supuesto caso de una reparación en el tramo correspondiente, el costo no resulte muy elevado.

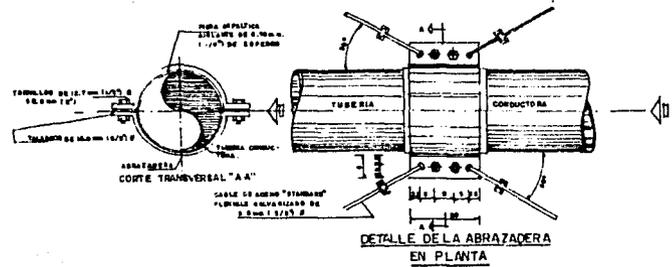
#### 4-20 INSTALACIONES DE TRAMPAS DE DIABLOS.

Su distribución se basa igualmente en especificaciones, normalmente se localizan en lugares despoblados, accesibles y a una distancia aproximada de 60 kilómetros, siguiendo un orden, es decir, a una distancia de 30 kilómetros de cada una de las válvulas de seccionamiento.

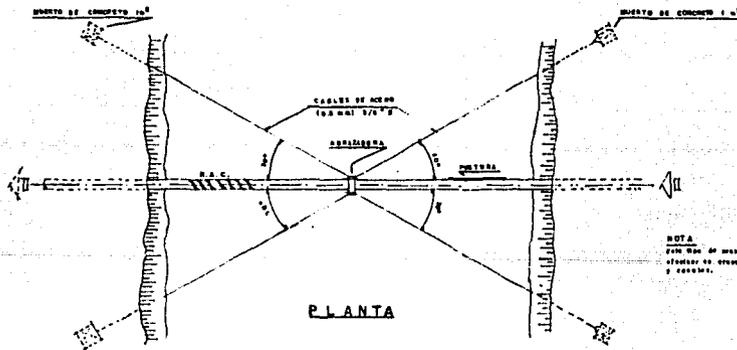
Su función principal es, además de seccionar la línea, facilitar periódicamente la limpieza general del gasoducto, ya que en este lugar se reciben y a la vez se envían los diablos para la limpieza interior de los tramos correspondientes.



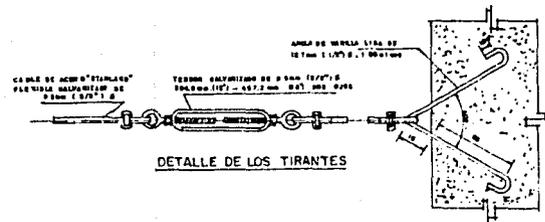
SECCION LONGITUDINAL



DETALLE DE LA ABRAZADERA EN PLANTA



PLANTA



DETALLE DE LOS TIRANTES

NOTA  
 Para más de información sobre el diseño  
 consultar el estudio con planos, especificaciones  
 y cálculos.

- A. Si la abrazadera es de tipo "A" la tubería podrá estar abierta.
- B. Si la abrazadera es de tipo "B" pero hecha de zinc (Zn) la tubería deberá cerrarse con una placa y instalarse un cable de 100 mm de diámetro.
- C. Si la abrazadera es de tipo "C" se deberá utilizar un cable de 100 mm de diámetro.

DIAMETRO DE TUBERIA EN M.	VALORES DE W	
	CLAVO EN MTS.	CLAVO EN MTS.
100	19.24	406
125	16.78	487
150	14.78	588
175	13.01	700
200	11.51	824

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LAS LINEAS  
 DE CONDUCCION DE HIDROCARBUROS.  
 CRUZAMIENTO TIPO AEREO

TESIS PROFESIONAL  
 ANTONIO ADELARGO GONZ. GALLEGOS  
 México, D.F. 1979      Dibujo N.º 4.7

#### 4.21 INSTALACIONES DE PLANTAS DE COMPRESION.

La instalación de cada planta de compresión se basa en un estudio minucioso y completo de la demanda de gas, de los principales centros de consumo por los que pasa el gasoducto.

Básicamente su función principal es la de aumentar la presión del flujo y en consecuencia aumentar el gasto.

#### 4.22 INSTALACIONES DE ESTACIONES DE MEDICION Y REGULACION.

La función principal de una estación de medición y regulación, es, como su nombre lo indica, medir el gasto y a la vez regular su presión, tanto en el punto de envío como en el punto de recibo.

Su instalación se lleva a efecto por personal esencialmente especializado y basados en planos previamente calculados.

#### 4.23 INSPECCION GENERAL DE LA LINEA.

La inspección del gasoducto debe ser llevada a cabo por personal especializado y primordialmente de confianza, debido a que esta es una de las operaciones más delicadas, ya que cualquier falla en la instalación del gasoducto pone en peligro la vida de muchos seres humanos y también pone en peligro las instalaciones adyacentes a dicho gasoducto.

La inspección general de todas las instalaciones a lo largo del gasoducto, se empieza ( no necesariamente ) por la estación de medición y regulación en el punto de envío, empezando por observar cuidadosamente toda la instalación, engrasando perfectamente cada una de las válvulas, ajustándolas (apretando espárragos), calibrando cada uno de los instrumentos y conexiones al tablero, soplando todas las líneas que van a los instrumentos y a la vez probándolas.

De la misma manera se inspeccionan cada una de las instalaciones de válvulas de seccionamiento, trampas de diablos, estaciones de compresión, válvulas intermedias de desfogue y además la estación de medición y regulación en el punto de recibo. De esta forma se checa todo el gasoducto antes y después de la - -

prueba hidrostática de la línea principal, dejándola lista para ponerse en operación.

#### 4.24 PRUEBA HIDROSTATICA DE LA LINEA.

Una vez hechas todas las instalaciones necesarias para el funcionamiento normal del gasoducto se procede a llevar a efecto la prueba hidrostática de la línea.

Normalmente la longitud máxima de los tramos debe ser tal que dentro de cada uno de ellos no haya una diferencia de presiones mayor de 10% de la presión de prueba. Para iniciarla se correrá primeramente un diablo (Scraper) para purgar de aire la línea y limpiarla de toda incrustación, polvo o rebabas de construcción. El diablo deberá ser del tipo adecuado para estas operaciones, debe estar provisto de copas que lo hagan hermético para desplazar el aire, además de cepillos de alambre para remover el óxido, rebabas, polvo, etc.. Los cepillos y copas deben ser del tipo de desgaste compensado.

Purgada perfectamente la línea, debe dejarse correr libremente el agua o fluido (conque se corra el diablo) en el sitio de salida de éste, para terminar de limpiar la tubería, durante un tiempo razonable, es decir, hasta que el agua o fluido empieza a salir limpio.

Terminada la limpieza y expulsión de aire; con la línea -- llena, se procede a llevar acabo la prueba hidrostática, sometiendo a la tubería a la presión recomendada por su fabricante.

En uno de los extremos (preferentemente en el de mayor altitud) de la lingada o tramo del gasoducto que se está inspeccionando, se instala un manómetro con su respectiva gráfica, en donde se observa el comportamiento de la tubería. Una vez alcanzada la presión de prueba, se mantiene ésta durante 24 horas -- como mínimo. Durante este tiempo se debe observar constantemente la gráfica, la cual debe ser constante y uniforme. No debe haber fluctuaciones de presión, salvo las atribuidas a cambios de temperatura.

Naturalmente que todo el equipo auxiliar empleado (bombas, válvulas, etc.) debe ser perfectamente inspeccionado antes de -empezar la prueba, para seguridad del personal que esté laborando en dicha prueba.

Terminada la prueba hidrostática, se procede a correr uno o más diablos del tipo apropiado, para desplazar en forma efectiva el agua que haya quedado alojada en la tubería, especialmente en las partes bajas (columpios). Estos diablos pueden ser corridos con productos derivados del petróleo (Diesel).

Posteriormente a esta limpieza interior, se procede a correr dos diablos de empaques, separados entre sí por un colchón de alcohol (20 ó 30 barriles, según el diámetro de la tubería) - o cualquier otro líquido muy ávido de agua, con el propósito de secar completamente el interior de la línea.

## C A P I T U L O   V

### C O N C L U S I O N E S

Los métodos y fórmulas empleadas en el presente trabajo son de aplicación sencilla, pero proporcionan resultados muy confiables.

Durante la fabricación de los materiales y de los equipos a emplearse, así como también durante el proceso de construcción de la línea de gas, es necesario vigilar que todo ello se lleve a cabo dentro de las normas y especificaciones establecidas, ya que cualquier falla en la línea puede ocasionar accidentes que pongan en peligro vidas humanas e instalaciones adyacentes.

La realización del proyecto de las líneas de conducción de hidrocarburos es conveniente y necesario desde el punto de vista económico y técnico.

Desde el punto de vista económico se analiza la inversión y los costos anuales que originaría el suministro del producto a manejar por medio de ductos y compararlo con los costos ocasionados por el suministro del mismo producto en autotanques o tanques de ferrocarril. Actualmente el país pasa por una crisis de transporte ferroviario y carretero por lo que es urgente la construcción de más líneas de hidrocarburos.

Por la experiencia adquirida con las líneas existentes, se ha visto que el capital invertido se amortiza en 4 ó 5 años, cuando las líneas trabajan a su máxima capacidad, redundando en un beneficio económico, beneficio que aumenta aún más al terminar de amortizar el capital y tener por un lado mayores utilidades, y por otro, un menor costo de producción de algunos productos que se obtienen de los hidrocarburos.

Desde el punto de vista técnico indudablemente que los --  
tanques de ferrocarril, autotanques, barcos, etc., son de im- --  
portancia en el transporte de hidrocarburos, pero el método --  
más eficaz y económico es el que se hace por medio de tube- --  
rías. El trabajo que éstos desempeñan, es infinitamente más --  
uniforme y constante que el de cualquier otro sistema de trans-  
porte.

Las líneas de conducción trabajan tanto en verano como en  
invierno, día y noche, durante todo el año, haciendo posible -  
la existencia de grandes terminales y plantas centrales de pro-  
ceso. Con esta alternativa de transporte de hidrocarburos se -  
evitarían los congestionamientos en las carreteras y en las --  
vías ferreas del país.

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

TEORIA Y PROBLEMAS DE MECANICA DE LOS FLUIDOS  
E HIDRAULICA.

Ronald V. Giles  
Jaime Moneva Moneva  
Schaum Mc Graw - Hill - 1969

MECANICA DE FLUIDOS PARA INGENIEROS.

N. B. Webber B. Sc.  
José Rodríguez Ucaña  
Ediciones URMO - 1969

ESPECIFICACIONES API.

(American Petroleum Institute)

ESPECIFICACIONES ASTM.

(American Society for Testing and --  
Materials)

ESPECIFICACIONES AWS.

(American Welding Society)

PIPE LINE CATALOG.

Pipe Line Industry  
Gulf publishing company - 1979

BREVE DESCRIPCION DEL EQUIPO USUAL EN CONSTRUCCION.

U.N.A.M. Facultad de Ingeniería, ---  
Sección de Construcción.

NOIMAS DE PETROLEOS MEXICANOS:

- 2.374.01 - Proyecto de redes de distribución de gas natural-1976.
- 3.104.09 - Clasificación de materiales para el pago de excavaciones - 1978.
- 3.108.01 - Trazo y niveles - 1975.
- 3.374.01 - Sistemas de transporte -- de petróleo por tubería - (Primera parte) - 1975.
- 3.374.01 - Sistema de transporte de-petróleo por tubería (Segunda parte) - 1975.