



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO Y OPTIMIZACION DE LA TUBERIA
Y SISTEMA DE BOMBEO DEL OLEODUCTO
POZA RICA-TULA

171

ARTURO GARCIA GUTIERREZ ^y
Garcés Ramos Benito

INGENIERO QUIMICO

1976



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. Tesis
AGE 1976 173
FECHA 1976
PROC U-1



QUÍMICA

PRESIDENTE: **ING. ERNESTO RIOS MONTERO**

V O C A L : **ING. VLADIMIR ESTIVILL RIERA**

SECRETARIO: **ING. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE**

1er. SUPLENTE: **ING. RAMON ARNAUD HUERTA**

2do. SUPLENTE: **ALBERTO TORRES DURAZO**

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: **FACULTAD DE QUIMICA
CIUDAD UNIVERSITARIA**

SUSTENTANTE: **ARTURO GARCIA GUTIERREZ**

ASESOR: **ING. VLADIMIR ESTIVILL RIERA**

Con mi cariño, respeto y admiración,
para mis padres:

Fanny Gutiérrez de G.
Arturo García C.

Con afecto para mi hermano:
Jaime

Y con amor, para mi esposa;
Irma Angélica
y mi hija;
Elis

Mi más cumplido agradecimiento al Profesor:

Ing. Vladimir Estivill "iera

Por sus atinados consejos, y su generosa
intervención en la realización de esta
Tesis.

C O N T E N I D O :

C A P I T U L O	1	I N T R O D U C C I O N .
C A P I T U L O	2	G E N E R A L I D A D E S .
	2.1	Bombas.
	2.2	Bombas Centrifugas.
	2.2.1	Bombas de Desplazamiento Positivo.
	2.3	Características de Operación.
	2.4	Selección de las Bombas.
	2.5	Selección de Materiales de Construcción para Bombas.
	2.6	Flujo de Fluidos.
C A P I T U L O	3	P A R T E E X P E R I M E N T A L .
	3.1	Desarrollo y Obtención de Datos Preliminares.
	3.2	Pérdidas de Energía por Fricción.
	3.3	Caidas de Presión Totales y Presiones de diseño.
	3.4	Espesores Mínimos.
	3.5	Espesores de Diseño.
	3.6	Pérdidas por Fricción (Modificadas).
	3.7	Pérdidas de Presión Totales (Modificadas).
	3.8	Potencia de las Bombas.
C A P I T U L O	4	C O S T O S .
	4.1	Costo de Tubería.
	4.2	Costo de Bombas.
	4.3	Costo de Motores.
	4.4	Costo de Energía Eléctrica.
	4.5	Diámetro Optimo.
C A P I T U L O	5	C O N C L U S I O N E S .
C A P I T U L O	6	A P E N D I C E .

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

1.- INTRODUCCION.

1.- INTRODUCCION

En la actualidad, entre los energéticos, el petróleo queda identificado como la fuente de energía más importante.

Nuevas refinerías están en construcción a través de todo el mundo, para mantener el ritmo creciente de la industria y el transporte.

Una de las etapas del complejo proceso que se inicia con los estudios de perforación y que termina cuando los derivados son usados en la industria, es el transporte de crudo desde el punto de perforación de pozos hasta las refinerías que habrán de transformarlo.

Este transporte se lleva a cabo a menudo mediante la utilización de oleoductos.

El objetivo de esta tesis es el análisis cuantitativo y generalizado, de un sistema de transporte de fluidos donde se usan tuberías y bombas.

La base de la optimización, es la selección de un sistema de tubería y bombeo que cumpla con las necesidades de operación, y que a la vez sea económico, práctico y seguro.

Este análisis se ilustra con un diseño y optimización de un oleoducto que se construye entre el distrito petrolero de Pozarica, Ver. y la refinería de Tula Hgo.

2.- GENERALIDADES.

2. 1. B O M B A S

Las bombas se clasifican en dos grupos principales:

- a) Bombas centrífugas.
- b) Bombas de desplazamiento positivo.

Cada grupo se subdivide en diferentes clases, de acuerdo al diseño de sus partes.

2. 2.- B O M B A S C E N T R I F U G A S

Se clasifican por concepto de:

- 1) Diseño interno de la carcaza.
- 2) Posición de la carcaza.
- 3) Disposición de la bomba con respecto a la fuente de suministro.
- 4) Posición de la succión.
- 5) Tipo de impulsor.
- 6) Acoplamiento con el motor.

2. 2. 1.- B O M B A S D E D E S P L A Z A M I E N T O P O S I T I V O

TIPOS:

- 1) Rotatorias.
- 2) Reciprocantes.
- 3) Diseño especial.

Las bombas centrífugas son las de uso más extenso, aproximadamente el 65 % de las bombas en operación son centrífugas; esto se debe — principalmente a su gran flexibilidad y disponibilidad en tamaño y materiales de construcción.

2.2.- BOMBAS CENTRIFUGAS.

2. 2. a.- Principio de Operación :

El principio de operación de estas bombas se basa en la transformación de energía cinética en energía de presión. La acción centrífuga de un impulsor imprime alta velocidad al fluido manejado, que adquiere un incremento de energía cinética; en la descarga ésta velocidad se disminuye — provocándose con ésto la transformación de energía cinética en energía de presión.

2. 2. b.- Diseño de la Carcaza :

El fluido que se maneja en las bombas centrifugas adquiere una alta velocidad por la acción de los impulsores. Esta velocidad es entonces reducida, utilizando para esto diferentes formas de carcaza.

En las bombas de voluta el líquido succionado es forzado por los impulsores radialmente hacia la periferia y descargado en una curza de forma espiral que favorece la transformación de energía.

En las Bombas difusoras, el líquido que sale de los impulsores pasa a través de un anillo de aspas fijas que difunden el líquido, controlando el flujo y permitiendo una mayor eficiencia en la transformación de velocidad en presión.

Las bombas de turbina o regenerativos tienen succión inferior y flecha vertical, a la que van unidos uno o varios impulsores que pueden ser flujo radial o mixto. La descarga se efectúa a lo largo del eje en algunos casos es estabilizado por el uso de aspas difusoras.

Estas bombas pueden lubricarse con agua o aceite. En aquellas lubricadas con agua, la flecha se mueve en el mismo seno del líquido manejado, en las lubricadas con aceite, la flecha se mueve en el interior de un cilindro lleno de aceite.

2. 2. c.- Posición de la Carcaza :

De acuerdo con la posición de la carcaza, las bombas se diseñan en forma horizontal, vertical e inclinada.

Generalmente, las bombas verticales tienen ventajas desde el punto de vista de espacio ocupado, NPSH REQUERIDO, y flexibilidad para cambios de capacidad.

Las bombas horizontales presentan ventajas para el manejo de líquidos corrosivos y abrasivos y tienen un menor costo de mantenimiento.

2. 2. d.- Posición de la bomba con respecto a la fuente de suministro :

Cuando la bomba se coloca en el interior de la Fuente de Suministro y una línea de descarga para arriba del nivel del líquido, el arreglo se conoce como bomba húmeda.

Cuando el cuerpo de bombeo se coloca fuera de la fuente de suministro y se coloca ésta con la succión de la bomba a través de una línea, la bomba se llama de succión seca.

2. 2. e.- Posición de la succión :

Las bombas centrífugas pueden ser de succión lateral superior o inferior; la primera es más común y suele utilizarse cuando la bomba en una posición inmediata inferior a la fuente de suministro. La succión inferior se utiliza en las bombas verticales y en las de succión húmeda. La bomba se coloca en una posición inmediata superior a la fuente de suministro.

2. 2. f.- Tipo de Impulsor :

De acuerdo a su forma, Los Impulsores pueden ser cerrados, semiabiertos y abiertos. En los primeros la cabeza se genera entre dos paredes del Impulsor Rotante, las ventajas de este tipo de Impulsor son : Poco mantenimiento y eficiencias originales mantenidas prácticamente durante toda la vida de la bomba.

En los Impulsores semiabiertos, la cabeza se genera entre una de las paredes rotantes del impulsor y una de las paredes estacionarias de la carcaza, requiriéndose pequeños claros entre las aspas flotantes las paredes fijas de la carcaza.

Este tipo de impulsor se utiliza principalmente cuando se manejan líquidos con sólidos en suspensión.

De acuerdo con el número de succiones, los impulsores pueden ser de una succión o de succión doble. Las últimas se utilizan principalmente cuando es necesario generar altas cabezas y cuando se maneja el flujo en líneas con un NPSH disponible reducido, en estas bombas el líquido es alimentado a cada lado del Impulsor, lo cual elimina el marcado desbalance hidráulico, y se facilita el trabajo a altas presiones. Además, la doble succión hace disminuir la velocidad de entrada, reduciéndose por lo tanto el NPSH requerido.

De acuerdo con el flujo del líquido producido en el interior de la carcaza, los impulsores pueden ser de flujo radial, axial, mixto.

En el primer tipo, el líquido es empujado en varias direcciones correspondientes a los radios del círculo descrito por los impulsores en su giro. En los Impulsores de flujo axial, el líquido fluye paralelo al eje de rotación del impulsor. El flujo mixto es una combinación de los dos anteriores.

Dependiendo de la posición de la carcaza, el eje de rotación de los impulsores puede ser horizontal, vertical o inclinado.

2. 2. g.- Acoplamiento con el Motor :

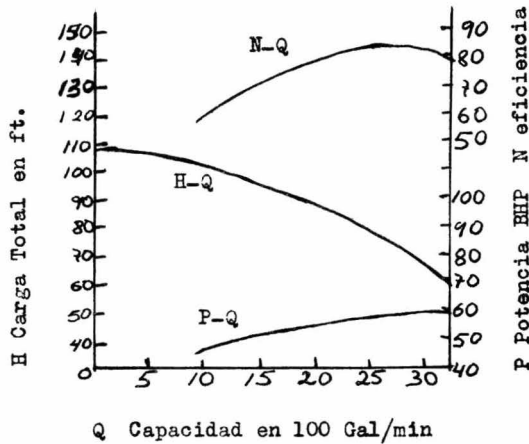
La bomba puede conectarse al motor a través de una flecha común que se coloca en cualquier dirección y evita los problemas de balanceo, o bien, a través de un acoplamiento o embrague que permite la desconexión, reparación o sustitución de la bomba o motor en forma independiente pero con el problema de un acoplamiento necesariamente horizontal y de un balance adecuado.

2. 3.- CARACTERISTICAS DE OPERACION

Una bomba centrífuga opera usualmente a velocidad constante y su capacidad depende solo de la cabeza total, el diseño y las condiciones de succión.

Las condiciones de operación se describen por medio de curvas características.

Estas curvas interrelacionan la cabeza de descarga (H), la capacidad (Q), la eficiencia (N) y la potencia (P) para un tipo determinado de bombas a una cierta velocidad.



Curvas Características para una Bomba Centrífuga.

La curva $H-Q$, muestra la relación entre la cabeza total y la capacidad. El aumento de presión creado por una bomba centrífuga se expresa universalmente en términos de pies del fluido. La cabeza de descarga, cuando se expresa en pie de fluido, es independiente de la densidad del mismo.

La selección de una Bomba debe hacerse de tal forma que persistan condiciones estables de operación.

La curva $P-Q$ muestra la relación entre potencia y capacidad. La curva $N-Q$, relaciona eficiencia y capacidad.

Cuando en una bomba se cambia el diámetro del impulsor, se cambia el área de descarga y directamente se produce un cambio en capacidad.

Al cambiar el diámetro, se influencia la cabeza total en razón directa al cuadrado del diámetro de los impulsores, y se influencia la potencia en razón directa al cubo de los diámetros de los impulsores.

2. 3. a.- Cavitación :

Cuando una bomba centrífuga se opera a alta velocidad, se desarrollan bajas presiones en el ojo impulsor o en los extremos de las venas. Cuando estas presiones tienen un valor menor que la presión de vapor del líquido, puede ocurrir una evaporación en estos puntos; las burbujas de vapor se mueven entonces a una región de alta presión donde se destruyen. Esta formación y destrucción de las burbujas de vapor se llama cavitación. La destrucción de burbujas puede ocurrir tan rápido que el líquido golpeará la vena con una fuerza que es posible el desprendimiento de pequeños pedazos del impulsor, además se crea una vibración acompañado de ruido.

La cavitación puede ser reducida o eliminada, reduciendo el gasto de bombeo; si la cavitación no se elimina, se puede causar un gran daño a la bomba.

2. 3. b.- (N P S H)

La cavitación puede ser eliminada o minimizada si se tiene cuidado con el diseño de instalación de la bomba en el lado de la succión.

El (NPSH) se define como la diferencia entre la cabeza total en la entrada de la succión y la cabeza correspondiente a la presión de vapor del líquido a la entrada de la bomba.

2. 4.- SELECCION DE LAS BOMBAS -

Las bombas pueden ser seleccionadas de acuerdo a :

- 1) Requerimientos de carga.
- 2) Capacidad.
- 3) Fluído que se va a bombear.
- 4) Otras especificaciones (diseño interno)

Algunos pasos son necesarios al seleccionar una bomba.

- 1) Estimar las cargas totales auxiliándose con un diagrama de la línea.
- 2) Determinar la capacidad de las bombas de acuerdo a las condiciones locales, dando algún margen de seguridad.
- 3) Exámen de las propiedades del líquido, tales como:
 - 3.1.- Peso específico ó densidad relativa.
 - 3.2.- Viscosidad (flujo Newtoniano).
 - 3.3.- Presión de vapor.
 - 3.4.- Sólidos en suspensión.
- 4) Finalmente, hacer la selección de acuerdo a las especificaciones de diseño interno de la bomba.

El diseño mecánico de una bomba centrífuga es muy complejo y la selección de Bomba apropiada para una tarea específica requiere un conocimiento de la importancia de cada factor.

Probablemente la característica más importante es el diseño apropiado de los anillos de desgaste los cuales sellan entre la periferia a alta presión del impulsor y el área del eje que está a baja presión.

Si éstos se pueden hacer de tal manera que quedan espacios cerrados continuos, sí podrá obtenerse buena eficiencia.

Si se espera que la corrosión y erosión deterioren al sello, es necesaa--

rio aceptar una circulación interna alta del fluido.

De esta manera la eficiencia original bajará pero se obtendrá una vida efectiva mayor de estas partes.

2. 5.- SELECCION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA BOMBAS -

Lo que hace económica una bomba así como confiable, es la combinación propia de materiales con propiedades físicas y mecánicas adecuadas.

Con la gran cantidad de materiales de construcción disponibles, se podrá pensar erróneamente que es muy fácil el diseño de una bomba de duración indefinida; sin embargo, el problema es seleccionar la combinación correcta de propiedades de los materiales que son: la resistencia mecánica, dureza, facilidad de forjado, maquinabilidad, tendencia a no producir chispas, lubricabilidad, resistencia a la erosión, corrosión y al desgaste.

2. 5. a. - BASES PARA LA SELECCION DE MATERIALES :

En contraste a la evacuación de eficiencia mecánica, de una bomba, -- donde su desempeño a una cabeza dada y a una condición de flujo, puede ser comparada a un Standard aceptado, la selección de materiales no es tan precisa en general, los materiales para bombas son seleccionados basándose en la experiencia, ya sea la del operador, del vendedor, ó también puede basarse en datos publicados en referencias, libros de texto catálogos ó normas. Es importante sin embargo, que el ingeniero de procesos, describa los parámetros de operación de las bombas que opere, (tipo de fluido, contaminantes si los hay, rango de temperatura de operación, costo de la propiedad etc.)

Básicamente la selección de materiales depende de las siguientes características principales :

- 1) Resistencia a la corrosión.
- 2) Abrasividad.
- 3) Temperatura de bombeo.

2. 5. b. - CARCAZA -

Los requerimientos para las carcazas son tales, que éstas sean capa-

ces de soportar la presión de proceso y que su construcción sea de un diseño apropiado.

El acero al carbón es el material más usado. Esto se debe a que es relativamente barato, tiene resistencia y dureza satisfactorias y resistencia a la corrosión satisfactoria para la mayoría de los líquidos de procesos - de refinería.

Aunque el hierro fundido es menos caro, que el acero al carbón, y tiene buena resistencia a la corrosión a la mayoría de los fluidos derivados del petróleo; no se usa mucho en este tipo de trabajos; la razón es que el hierro fundido es inherentemente quebradizo; si se expone al fuego y se enfría rápidamente.

La selección final sera acorde o considerará la posible generación de pares galvánicos.

2. 6. a. - F A C T O R D E F R I C C I O N.

El factor de fricción se define como: Transferencia total de momento/Transferencia de momento por mecanismo turbulento.

La expresión matemática para este cociente es:

$$f = \frac{2 (-\Delta P) g_c D}{v^2 \rho L}$$

en donde :

P = Caída de presión.

g_c = Aceleración de la gravedad.

D = Diámetro de tubería.

v^2 = velocidad media al cuadrado.

ρ = Densidad del fluido

L = Longitud de la tubería.

Este es un factor adimensional de rozamiento y es una función de la rugosidad de la tubería, por lo tanto se toma en cuenta para el cálculo de balance de energía, el factor de fricción puede también definirse como:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{flujo laminar})$$

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu}$$

en donde:

Re = Número de Reynolds.

2. 6. b. N U M E R O D E R E Y N O L D S.

Se da el nombre de números de Reynolds a cualquiera de las diversas cantidades dimensionales de la forma $D v \rho / \mu$ que se presentan en la teoría del movimiento de los fluidos.

El número de Reynolds sirve como un criterio para delinear la natu

raleza del flujo en ductos y tuberías.

Algunas de las expresiones para definir el número de Reynolds son:

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{64}{f} \quad (\text{flujo laminar})$$

$$f = \phi (Re) = K (Re)^a \quad (\text{flujo turbulento})$$

Existe una relación entre el número de Reynolds, la rugosidad relativa particular para cada tipo de tubería y el factor de fricción; esta relación se puede representar por medio de una gráfica, y las expresiones matemáticas son :

$$f = \frac{2 \sum c D (-\sum F)}{v^2 \sum L}$$

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu}$$

en donde :

$\sum F$ = Suma de energía por fricción.

$\sum L$ = Longitud del ducto.

D = Diámetro del ducto.

La figura del apéndice A-3 es una gráfica logarítmica del factor de fricción como función del número de Reynolds en un rango de número de Reynolds entre 100 y 10.000,000 para flujo en tubería lisa.

Los datos de la gráfica fueron tomados en un rango amplio de todas las variables y con un flujo totalmente desarrollado.

Es importante notar que existen dos curvas diferentes separadas por una discontinuidad (entre 2100 y 3500).

La curva A es continua y termina en $Re = 2100$, en este tramo todo

el flujo es laminar.

Arriba de $Re = 3500$ el flujo es turbulento.

Entre $Re = 2100$ y $Re = 3500$ ocurre el flujo de transición esto es -
que cualquiera de los flujos puede ocurrir o una combinación de ellos.

3.- P A R T E E X P E R I M E N T A L .

3.- PARTE EXPERIMENTAL -

Las dificultades para tender un oleoducto son grandes en la práctica, entre estas están los derechos de vías y la topografía del terreno que son las que presentan mas dificultad debido a las distancias tan grandes por las que tienen que pasar. En el caso del oleoducto Poza Rica - Tula, el problema se redujo grandemente ya que se utilizó el mismo derecho de vía de los oleoductos que van desde Poza Rica a Salamanca y el de Poza Rica - Atzacapozalco con una bifurcación en el kilómetro número 226.162. En este tramo se utilizaron las mismas estaciones de bombeo, por lo que el problema se redujo considerablemente, ya que una vez fijadas las distancias, lo que se tiene que calcular son los diámetros óptimos de la tubería y la potencia de las bombas necesaria para transportar el fluido con sus costos, para sí obtener el diámetro óptimo.

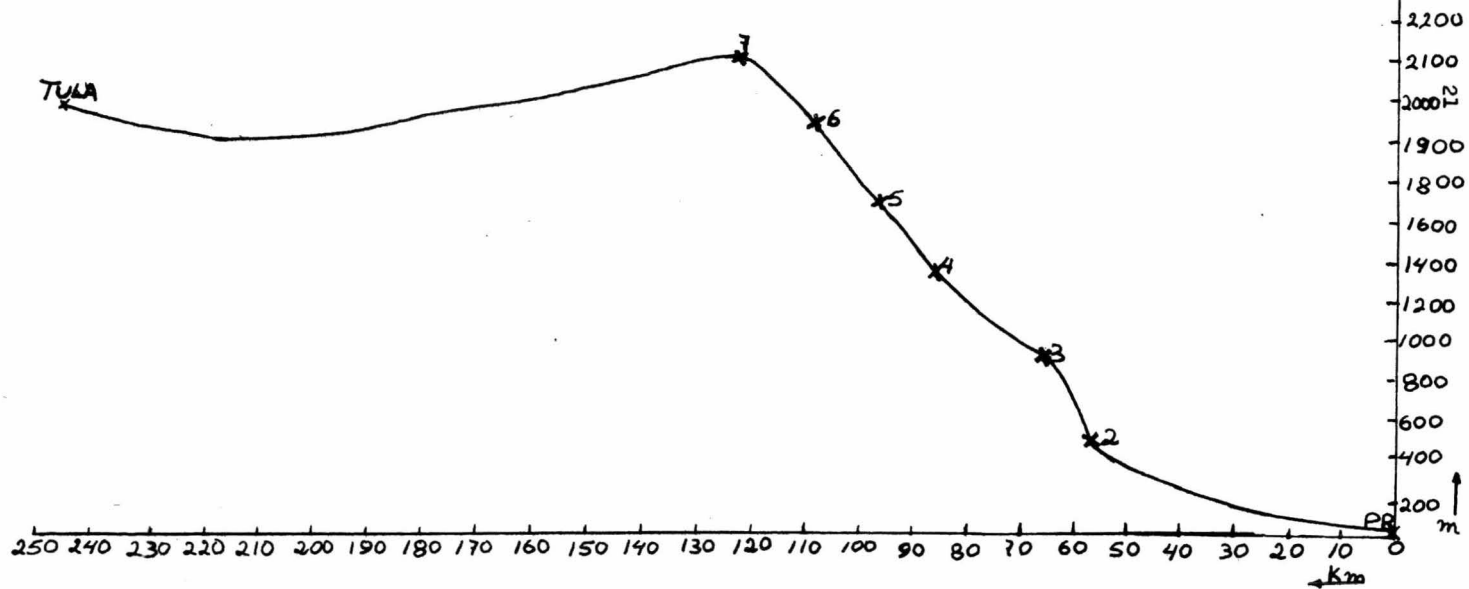
Respecto a la topografía del terreno, tambien está definida. Las distancias y alturas a las que están localizadas cada una de las sub-estaciones, incluyendo el punto de bifurcación y la terminal en Tula Hgo., se tiene en la tabla No. I.

Los datos de la tabla No. I se tendrán graficados en la figura No. I.

T A B L A I.- Localización de las Sub-estaciones.

Sub- Estación	Alturas (m)	Diferencias (m)	Distancias (m)	Diferencias (m)
Poza Rica	55.75		58,015	
		412.25		58,015
2	468.00		58,015	
		430.00		6,085
3	898.00		64,100	
		442.60		21,870
4	1,340.60		85,970	
		407.40		10,615
5	1,748.00		96,585	
		434.00		10,615
6	2,182.00		107,200	
		309.80		10,550
7	2,491.20		117,750	
		-451.20		108,412
B	2,040.00		226,162	
		110.00		16,200
Tula	2,150.00		242,362	

Localización del Oleoducto y
Estaciones de Bombeo.



3. 1.- DESARROLLO Y OBTENCION DE DATOS PRELIMINARES

La tubería va a estar enterrada, lo que permite suponer que las condiciones del fluido son físicamente invariables a lo largo de toda la línea. La densidad del fluido es de 38.6° API, con esta condición se conoce la variación de viscosidades con respecto a la temperatura. Esta variación se obtiene por medio de la gráfica A-1 del apéndice. Como no se encuentra la variación de viscosidades para este caso, se interpoló entre las líneas 10 y 11 de la gráfica obteniendo la línea L. La temperatura - promedio a la cual se mantendrá constante el fluido durante su transporte es de 60° F, a esta temperatura la viscosidad es de 10 cp.

Con esto se construye una tabla en donde se pueden seguir paso a paso el desarrollo para transportar los 150,000 BPD que es el gasto deseado. Los datos adicionales los obtenemos del manual de TUBACERO, S. A. Para efectos de cálculo el intervalo de diámetros fue seleccionado analizando las caídas de presión por fricción por cada 1,000 ft. de tubería. El diámetro mayor seleccionado es el de 36 in., y es el mayor disponible en el comercio. El diámetro menor seleccionado es el de 14 in., en donde las pérdidas ya son muy grandes y se prevee como resultado un aumento excesivo en la potencia de las bombas como se apreciará más adelante.

Los otros datos adicionales como son el diámetro interior y el área transversal del tubo se obtienen del manual mencionado. Con esos datos se obtiene la velocidad del flujo que es igual al gasto entre el área transversal.

El comportamiento del fluido está determinado por la ecuación de Reynolds, que indica el régimen de transferencia de momentum. Con Re. y con la rugosidad relativa (Gráfica A-2 del apéndice), se obtiene el factor de fricción (Gráfica A-3 del apéndice).

Las pérdidas de energía causadas por la fricción que ejerce el fluido sobre las paredes de la tubería se obtienen por medio de la ecuación de pérdida de energía como a continuación se indica :

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g_c}$$

H_f = Pérdidas por fricción ft lb/lb

f = Factor de fricción

L = Longitud ft.

D = Diámetro interior ft.

v = Velocidad media del fluido ft/seg.

g_c = Aceleración = 32.2 ft lb/lb_f seg²

La longitud L que se va a utilizar para la estimación preliminar de la tabla No. II será de 1,000 ft. Estas pérdidas por fricción son exclusivamente de la tubería, pero las pérdidas no ocurren solamente aquí, si no también las hay debido a los cambios de dirección, y en general a la topografía del terreno en donde se utilizan codos, valvulas, etc. Estas pérdidas de energía se estiman por medio de la ecuación :

$$H_a = K \frac{v^2}{2g_c}$$

H_a = Pérdidas por fricción de accesorios ft lb/lb

K = Constante utilizada para las pérdidas de fricción de accesorios = 0.825/Km.

El valor de la constante es aproximado a la topografía del terreno, adecuado a este problema, dato obtenido de la literatura.

La suma de las pérdidas por fricción de la tubería y los accesorios dan una pérdida por fricción total, con el cual se calcula el espesor de pared necesario. Estos espesores son de tubería nueva. Pero como la tubería va a sufrir un desgaste por corrosión, erosión y otros aspectos que intervienen directa o indirectamente en el envejecimiento de la tubería, a las pérdidas por fricción se tendrá que prever un aumento o factor — que consideren los desgastes mencionados, un valor adecuado se estima de un 25 % adicional a las pérdidas por fricción ya encontradas.

T A B L A II.- Datos físicos y caídas de presión por cada 1,000 ft. de tubería lineal.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
De	esp.	Di	At.	v.	v^2	Re	e/D	f	H _f	H _a	H _t	P	H _T
in	in	ft	ft ²	ft/sg	ft ² /sg ²	$\times 10^4$	$\times 10^5$	$\times 10^2$	ft	lb/lb		lb/in ²	ft lb/lb
36	0.625	2.895	6.586	1.480	2.190	3.316	5.0	24.2	0.284	0.028	0.312	0.112	0.390
"	0.562	2.906	6.935	1.469	2.158	3.303	"	"	0.278	0.027	0.306	0.110	0.383
"	0.500	2.916	6.680	1.459	2.128	3.292	"	"	0.274	0.027	0.301	0.108	0.376
"	0.469	2.921	6.704	1.453	2.113	3.286	"	"	0.271	0.027	0.298	0.107	0.373
"	0.438	2.927	6.728	1.448	2.098	3.281	"	"	0.269	0.026	0.296	0.106	0.370
"	0.406	2.932	6.752	1.443	2.083	3.276	"	"	0.266	0.026	0.293	0.105	0.366
"	0.375	2.937	6.776	1.438	2.069	3.269	"	"	0.264	0.026	0.290	0.105	0.363
"	0.344	2.942	6.801	1.433	2.054	3.263	"	"	0.262	0.026	0.288	0.104	0.360
"	0.312	2.948	6.825	1.428	2.039	3.257	"	"	0.259	0.026	0.285	0.103	0.357
"	0.281	2.953	6.848	1.423	2.025	3.252	"	"	0.257	0.025	0.283	0.102	0.354
34	0.625	2.729	5.849	1.666	2.777	3.519	5.3	23.8	0.375	0.035	0.411	0.148	0.514
"	0.562	2.739	5.894	1.653	2.734	3.505	"	"	0.368	0.035	0.403	0.145	0.504
"	0.500	2.750	5.939	1.641	2.693	3.492	"	"	0.361	0.034	0.396	0.143	0.495
"	0.469	2.755	5.961	1.635	2.674	3.486	"	"	0.359	0.034	0.393	0.142	0.491
"	0.438	2.760	5.983	1.629	2.654	3.478	"	"	0.355	0.033	0.389	0.140	0.486
"	0.406	2.765	6.007	1.622	2.633	3.472	"	"	0.351	0.033	0.385	0.139	0.481
"	0.375	2.770	6.029	1.616	2.613	3.466	"	"	0.348	0.033	0.382	0.138	0.477
"	0.344	2.776	6.042	1.610	2.594	3.459	"	"	0.345	0.033	0.378	0.136	0.473
"	0.312	2.781	6.074	1.604	2.574	3.453	"	"	0.341	0.032	0.374	0.135	0.468
"	0.281	2.786	6.097	1.598	2.555	3.446	"	"	0.338	0.032	0.371	0.134	0.464
32	0.625	2.562	5.156	1.890	3.573	3.748	5.7	23.4	0.506	0.045	0.552	0.199	0.690
"	0.562	2.573	5.199	1.874	3.515	3.722	"	"	0.495	0.044	0.540	0.195	0.676
"	0.500	2.583	5.240	1.860	3.458	3.717	"	"	0.486	0.044	0.530	0.191	0.663
"	0.469	2.586	5.253	1.855	3.442	3.713	"	"	0.483	0.044	0.527	0.190	0.659
"	0.438	2.583	5.282	1.842	3.404	3.697	"	"	0.476	0.043	0.520	0.187	0.650
"	0.406	2.599	5.306	1.837	3.374	3.694	"	"	0.471	0.043	0.514	0.185	0.647
"	0.375	2.604	5.325	1.830	3.350	3.688	"	"	0.466	0.042	0.510	0.184	0.637
"	0.344	2.609	5.346	1.823	3.324	3.681	"	"	0.462	0.042	0.505	0.182	0.631
"	0.312	2.614	5.368	1.815	3.269	3.673	"	"	0.457	0.042	0.499	0.180	0.624
"	0.281	2.619	5.390	1.808	3.270	3.666	"	"	0.453	0.041	0.495	0.178	0.618

T A B L A II.- Datos físicos y caídas de presión por cada 1,000 ft. de tubería lineal.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
De	esp.	Di	At.	v.	v^2	Re	e/D	f	Hf	Ha	Ht	P	H_T
in	in	ft	ft ²	ft/sg	ft ² /sg ²	$\times 10^4$	$\times 10^5$	$\times 10^2$	ft	lb/lb	lb/in ²	lb/in ²	ft lb/lb
30	0.625	2.395	4.507	2.162	4.676	4.008	6.0	23.0	0.696	0.059	0.756	0.273	0.945
"	0.562	2.406	4.547	2.143	4.595	3.991	"	"	0.682	0.058	0.740	0.267	0.926
"	0.500	2.416	4.586	2.125	4.517	3.974	"	"	0.667	0.057	0.724	0.261	0.906
"	0.469	2.421	4.606	2.116	4.478	3.965	"	"	0.660	0.057	0.717	0.259	0.896
"	0.438	2.427	4.626	2.107	4.440	3.957	"	"	0.653	0.056	0.709	0.256	0.887
"	0.406	2.432	4.645	2.098	4.402	3.949	"	"	0.646	0.056	0.702	0.253	0.878
"	0.375	2.437	4.665	2.089	4.364	3.940	"	"	0.639	0.055	0.695	0.251	0.869
"	0.344	2.442	4.685	2.080	4.328	3.931	"	"	0.632	0.055	0.687	0.248	0.859
"	0.312	2.448	4.706	2.071	4.289	3.923	"	"	0.625	0.054	0.680	0.245	0.850
"	0.281	2.453	4.725	2.062	4.254	3.915	"	"	0.619	0.054	0.673	0.243	0.841
28	0.625	2.229	3.902	2.498	6.240	4.308	6.4	22.6	0.952	0.079	1.032	0.372	1.290
"	0.562	2.239	3.939	2.474	6.123	4.288	"	"	0.930	0.078	1.008	0.374	1.260
"	0.500	2.250	3.976	2.451	6.010	4.268	"	"	0.908	0.076	0.985	0.355	1.232
"	0.469	2.255	3.993	2.440	5.957	4.259	"	"	0.899	0.076	0.975	0.352	1.219
"	0.438	2.260	4.012	2.429	5.903	4.249	"	"	0.888	0.075	0.963	0.348	1.204
"	0.406	2.265	4.031	2.418	5.847	4.239	"	"	0.878	0.074	0.953	0.344	1.199
"	0.375	2.270	4.049	2.407	5.793	4.229	"	"	0.867	0.074	0.941	0.340	1.177
"	0.344	2.276	4.068	2.396	5.741	4.219	"	"	0.858	0.073	0.931	0.336	1.164
"	0.312	2.281	4.086	2.385	5.689	4.210	"	"	0.848	0.072	0.921	0.332	1.151
"	0.281	2.286	4.105	2.374	5.637	4.200	"	"	0.838	0.072	0.910	0.328	1.138
26	0.625	2.062	3.340	2.918	8.515	4.657	6.8	22.2	1.416	0.109	1.525	0.550	1.906
"	0.562	2.073	3.375	2.888	8.342	4.633	"	"	1.380	0.106	1.487	0.537	1.859
"	0.500	2.083	3.408	2.860	8.180	4.610	"	"	1.347	0.104	1.451	0.524	1.814
"	0.469	2.088	3.425	2.846	8.099	4.599	"	"	1.330	0.103	1.434	0.517	1.793
"	0.438	2.093	3.442	2.831	8.019	4.587	"	"	1.314	0.102	1.416	0.511	1.771
"	0.406	2.099	3.460	2.817	7.937	4.579	"	"	1.297	0.101	1.398	0.505	1.748
"	0.375	2.104	3.476	2.803	7.860	4.564	"	"	1.281	0.100	1.382	0.499	1.727
"	0.344	2.109	3.493	2.790	7.785	4.554	"	"	1.266	0.099	1.365	0.493	1.707
"	0.312	2.114	3.511	2.775	7.705	4.542	"	"	1.250	0.098	1.348	0.487	1.686
"	0.281	2.119	3.528	2.762	7.630	4.530	"	"	1.234	0.097	1.332	0.481	1.665

T A B L A II.- Datos físicos y caídas de presión por cada 1,000 ft. de tubería lineal.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
De	esp.	Di	At.	v.	v ²	Re	e/D	f	Hf	Ha	Ht	P	H _T
in	in	ft	ft ²	ft/sg	ft ² /sg ²	10 ⁴	10 ⁵	10 ²	ft lb/lb		lb/in ²		ft lb/lb
24	0.625	1.895	2.822	3.453	11.926	5.054	7.2	21.8	2.128	0.152	2.281	0.823	2.851
"	0.562	1.906	2.853	3.416	11.670	5.038	"	"	2.071	0.149	2.220	0.801	2.775
"	0.500	1.916	2.884	3.379	11.417	5.011	"	"	2.016	0.146	2.162	0.780	2.703
"	0.469	1.921	2.900	3.360	11.294	4.997	"	"	1.998	0.144	2.143	0.773	2.679
"	0.438	1.927	2.916	3.342	11.172	4.984	"	"	1.961	0.143	2.104	0.760	2.631
"	0.406	1.922	2.932	3.324	11.053	4.971	"	"	1.935	0.141	2.076	0.749	2.596
"	0.375	1.937	2.947	3.307	10.936	4.957	"	"	1.909	0.139	2.049	0.740	2.561
"	0.344	1.942	2.963	3.289	10.818	4.943	"	"	1.884	0.138	2.023	0.730	2.528
"	0.312	1.948	2.980	3.271	10.699	4.930	"	"	1.853	0.136	1.995	0.730	2.494
"	0.281	1.953	2.995	3.256	10.589	4.918	"	"	1.834	0.135	1.969	0.711	2.462
"	0.250	1.958	3.011	3.236	10.477	4.904	"	"	1.810	0.134	1.944	0.702	2.431
22	0.500	1.750	2.405	4.052	16.425	5.488	7.8	21.4	3.117	0.210	3.327	1.201	4.159
"	0.469	1.755	2.419	4.029	16.239	5.472	"	"	3.072	0.207	3.279	1.184	4.099
"	0.438	1.760	2.433	4.006	16.051	5.457	"	"	3.028	0.205	3.229	1.166	4.036
"	0.406	1.765	2.448	3.981	15.853	5.439	"	"	2.982	0.202	3.185	1.150	3.981
"	0.375	1.770	2.462	3.958	15.668	5.423	"	"	2.938	0.200	3.138	1.133	3.923
"	0.344	1.776	2.477	3.935	15.486	5.407	"	"	2.895	0.198	3.093	1.117	3.866
"	0.312	1.781	2.491	3.912	15.306	5.392	"	"	2.854	0.195	3.050	1.101	3.812
"	0.281	1.786	2.506	3.887	15.127	5.373	"	"	2.812	0.193	3.005	1.085	3.757
"	0.250	1.791	2.520	3.867	14.954	5.360	"	"	2.772	0.191	2.964	1.070	3.705
"	0.219	1.796	2.535	3.844	14.780	5.345	"	"	2.731	0.189	2.920	1.054	3.656
20	0.500	1.583	1.968	4.952	24.522	6.066	8.6	21.0	5.046	0.313	5.360	1.935	6.700
"	0.469	1.588	1.981	4.919	24.204	6.046	"	"	4.964	0.309	5.274	1.904	6.593
"	0.438	1.593	1.999	4.888	23.894	6.027	"	"	4.885	0.305	5.191	1.874	6.489
"	0.406	1.599	2.008	4.854	23.565	6.006	"	"	4.802	0.301	5.104	1.843	6.380
"	0.375	1.604	2.020	4.824	23.274	5.988	"	"	4.727	0.297	5.025	1.814	6.282
"	0.344	1.609	2.033	4.793	22.980	5.969	"	"	4.652	0.294	4.946	1.786	6.183
"	0.312	1.614	2.047	4.761	22.670	5.948	"	"	4.574	0.290	4.865	1.756	6.081
"	0.281	1.619	2.060	4.730	22.381	5.929	"	"	4.503	0.286	4.790	1.729	5.987
"	0.250	1.625	2.073	4.700	22.097	5.910	"	"	4.431	0.282	4.714	1.702	5.893
"	0.219	1.630	2.086	4.671	21.825	5.892	"	"	4.362	0.279	4.642	1.676	5.802

T A B L A II.- Datos físicos y caídas de presión por cada 1,000 ft. de tubería lineal.

l	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D _e ^m	esp.	Di	At.	v.	v ²	Re	e/D	f	H _f	H _a	H _t	P	H _T
in	in	ft	ft ²	ft/sg	ft ² /sg ²	×10 ⁴	×10 ⁵	×10 ²	ft	lb/lb		lb/in ²	ft lb/lb
18	0.500	1.416	1.575	6.186	38.267	6.780	9.4	20.5	8.594	0.489	9.084	3.280	11.355
"	0.469	1.421	1.587	6.140	37.716	6.755	"	"	8.441	0.482	8.931	3.225	11.164
"	0.438	1.427	1.599	6.096	37.166	6.731	"	"	8.333	0.475	8.806	3.179	11.007
"	0.406	1.432	1.610	6.052	36.632	6.707	"	"	8.139	0.468	8.607	3.108	10.759
"	0.375	1.437	1.622	6.007	36.092	6.681	"	"	7.988	0.461	8.450	3.051	10.563
"	0.344	1.442	1.634	5.965	35.582	6.658	"	"	7.849	0.455	8.305	2.998	10.381
"	0.312	1.448	1.646	5.920	35.052	6.633	"	"	7.703	0.448	8.159	2.945	10.195
"	0.281	1.453	1.658	5.879	34.563	6.610	"	"	7.570	0.442	8.012	2.893	10.016
"	0.250	1.458	1.669	5.838	34.084	6.587	"	"	7.436	0.436	7.073	2.842	9.841
"	0.219	1.463	1.681	5.796	33.604	6.564	"	"	7.307	0.430	7.737	2.792	9.671
16	0.500	1.250	1.227	7.944	63.107	7.683	11.0	19.7	15.442	0.807	16.250	5.865	20.312
"	0.469	1.255	1.236	7.881	62.121	7.653	"	"	15.138	0.795	15.934	5.753	19.917
"	0.438	1.260	1.247	7.816	61.089	7.622	"	"	14.826	0.781	15.608	5.636	19.510
"	0.406	1.265	1.257	7.750	60.064	7.589	"	"	14.631	0.768	15.400	5.561	19.250
"	0.375	1.270	1.268	7.686	59.083	7.558	"	"	14.221	0.756	14.977	5.408	18.722
"	0.344	1.276	1.278	7.724	58.126	7.527	"	"	13.933	0.744	14.677	5.298	18.346
"	0.312	1.281	1.288	7.563	57.200	7.498	"	"	13.653	0.732	14.385	5.194	17.982
"	0.281	1.286	1.299	7.500	56.263	7.466	"	"	13.373	0.720	14.094	5.089	17.616
"	0.250	1.291	1.310	7.441	55.372	7.436	"	"	13.112	0.708	13.821	4.990	17.276
"	0.219	1.296	1.320	7.381	54.479	7.406	"	"	12.846	0.697	13.543	4.890	16.929
14	0.500	1.083	0.921	10.579	111.930	8.867	13.0	18.8	30.153	1.432	31.586	11.405	39.483
"	0.469	1.088	0.930	10.479	109.822	8.825	"	"	29.443	1.405	30.848	11.139	38.561
"	0.438	1.093	0.939	10.381	107.773	8.784	"	"	28.764	1.379	30.141	10.885	37.680
"	0.406	1.099	0.948	10.278	105.647	8.740	"	"	28.250	1.352	29.602	10.689	37.002
"	0.375	1.104	0.957	10.184	103.713	8.700	"	"	27.598	1.337	28.925	10.445	36.157
"	0.344	1.109	0.966	10.093	101.834	8.661	"	"	26.975	1.303	28.279	10.247	35.349
"	0.312	1.114	0.975	9.994	99.880	8.618	"	"	26.328	1.278	27.607	9.968	34.508
"	0.281	1.119	0.984	9.901	98.041	8.579	"	"	25.726	1.254	26.981	9.742	33.726
"	0.250	1.125	0.994	9.807	96.177	8.536	"	"	25.121	1.231	26.352	9.558	32.940
"	0.219	1.130	1.002	9.721	94.515	8.500	"	"	24.453	1.209	25.663	9.267	32.079

Especificaciones de la T A B L A II.

- 1 Diámetro interior del tubo ó Diámetro Nominal (in).
- 2 Espesores de pared Comerciales (in).
- 3 Diámetro interior del tubo (ft).
- 4 Area transversal de flujo (ft^2).
- 5 Velocidad de flujo (ft/sg).
- 6 Velocidad de flujo al cuadrado (ft^2/sg^2).
- 7 Número de Reynolds (Adimensional).
- 8 Rugosidad Relativa.
- 9 Factor de Fricción.
- 10 Caídas de Presión por Fricción/1000 ft de Tubería Lineal (ft lb/lb).
- 11 Caídas de Presión por Fricción de los Accesorios/1000 ft de Tubería Lineal (ft lb/lb).
- 12 Caídas de Presión por Fricción de la Tubería más los Accesorios/1000 ft de Tubería Lineal (ft lb/lb).
- 13 Caídas de Presión por Fricción Totales/1000 ft de Tubería Lineal (lb/in^2).
- 14 Caídas de Presión por Fricción Totales para Tubería usada/1000 ft de Tubería Lineal (ft lb/lb).

3. 2.- PERDIDAS DE ENERGIA POR FRICCIÓN

Conocidas las pérdidas por fricción por cada 1,000 ft. de tubería y los puntos donde están colocadas las estaciones de bombeo, se procede a estimar las pérdidas a lo largo de toda la línea. Como se conocen las distancias entre sub-estaciones, se multiplican dichas pérdidas de energía por las distancias entre cada una de las sub-estaciones, para obtener las pérdidas de fricción totales. Todos los datos obtenidos se anotan en la tabla No. III

T A B L A III.- Pérdidas de Energía por fricción en lb/in².

De in	esp. in	PR-2	2-3	3-4	4-5 (lb/in ²)	5-6	6-7	7-T
36	0.625	21.43	2.21	8.07	3.92	3.92	3.89	46.02
"	0.562	21.05	2.17	7.93	3.85	3.85	3.82	45.20
"	0.500	20.68	2.13	7.79	3.78	3.78	3.76	44.42
"	0.469	20.51	2.11	7.73	3.75	3.75	3.73	44.06
"	0.438	20.32	2.09	7.66	3.71	3.71	3.69	43.65
"	0.406	20.15	2.07	7.59	3.68	3.68	3.66	43.28
"	0.375	19.98	2.06	7.53	3.65	3.65	3.63	42.91
"	0.344	19.79	2.04	7.46	3.62	3.62	3.59	42.50
"	0.312	19.64	2.02	7.40	3.59	3.59	3.59	42.18
"	0.281	19.47	2.00	7.34	3.56	3.56	3.54	41.81
34	0.625	28.24	2.91	10.64	5.16	5.16	5.13	60.65
"	0.562	27.73	2.91	10.65	5.07	5.07	5.04	59.55
"	0.500	27.21	2.86	10.26	4.98	4.98	4.94	58.44
"	0.469	27.02	2.80	10.18	4.94	4.94	4.91	58.03
"	0.438	26.72	2.78	10.06	4.88	4.88	4.85	57.37
"	0.406	26.48	2.75	9.98	4.84	4.84	4.81	56.89
"	0.375	26.26	2.73	9.90	4.80	4.80	4.77	56.40
"	0.344	26.00	2.71	9.80	4.75	4.75	4.72	55.83
"	0.312	25.75	2.68	9.70	4.71	4.71	4.68	55.30
"	0.281	25.52	2.65	9.62	4.67	4.67	4.64	54.81
32	0.625	37.93	3.91	14.30	6.94	6.94	6.89	81.45
"	0.562	37.15	3.83	14.00	6.79	6.79	6.74	79.78
"	0.500	36.46	3.76	13.74	6.66	6.66	6.62	78.27
"	0.469	36.24	3.73	13.66	6.63	6.63	6.59	77.82
"	0.438	35.74	3.68	13.47	6.54	6.54	6.50	76.75
"	0.406	35.34	3.64	13.32	6.46	6.46	6.42	75.90
"	0.375	35.04	3.61	13.20	6.41	6.41	6.37	75.24
"	0.344	34.71	3.58	13.08	6.35	6.35	6.31	74.55
"	0.312	34.35	3.54	12.95	6.28	6.28	6.24	73.77
"	0.281	34.01	3.50	12.82	6.22	6.22	6.18	73.03
30	0.625	51.98	5.36	19.59	9.51	9.51	9.45	111.62
"	0.562	50.91	5.25	19.19	9.31	9.31	9.25	109.33
"	0.500	49.81	5.13	18.77	9.11	9.11	9.05	106.96
"	0.469	49.29	5.08	18.58	9.01	9.01	8.96	105.86
"	0.438	48.78	5.03	18.49	8.92	8.92	8.87	104.75
"	0.406	48.28	4.98	18.20	8.83	8.83	8.78	103.69
"	0.375	47.77	4.92	18.00	8.74	8.74	8.68	102.59
"	0.344	47.24	4.87	17.80	8.64	8.64	8.59	101.44
"	0.312	46.74	4.82	17.72	8.55	8.55	8.50	100.38
"	0.281	46.27	4.77	17.44	8.46	8.46	8.41	99.36

T A B L A III.- Pérdidas de Energía por fricción en lb/in^2 .

De	esp.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	in	(lb/in^2)						
28	0.625	70.91	7.31	26.76	12.97	12.97	12.89	152.29
"	0.562	69.30	7.15	26.12	12.69	12.69	12.60	148.81
"	0.500	67.74	6.98	25.52	12.39	12.39	12.31	145.46
"	0.469	67.01	6.91	25.26	12.26	12.26	12.18	143.91
"	0.438	66.23	6.83	24.96	12.11	12.11	12.04	142.23
"	0.406	65.49	6.75	24.68	11.98	11.98	11.90	140.64
"	0.375	64.73	6.67	24.40	11.84	11.84	11.77	139.00
"	0.344	64.02	6.60	24.13	11.71	11.71	11.64	137.49
"	0.312	63.28	6.53	23.85	11.57	11.57	11.50	135.90
"	0.281	62.60	6.45	23.59	11.45	11.45	11.38	134.43
26	0.625	104.81	10.81	39.51	19.17	19.17	19.06	225.08
"	0.562	102.23	10.54	38.53	18.60	18.60	18.52	219.52
"	0.500	99.77	10.29	37.61	18.25	18.25	18.14	214.25
"	0.469	98.57	10.17	37.16	18.03	18.03	17.92	211.67
"	0.438	97.37	10.04	36.70	17.81	17.81	17.70	209.10
"	0.406	96.13	9.92	36.26	17.59	17.59	17.48	206.44
"	0.375	94.99	9.80	35.81	17.38	17.38	17.27	203.99
"	0.344	93.87	9.88	35.38	17.17	17.17	17.07	201.58
"	0.312	92.69	9.56	34.94	16.96	16.96	16.85	199.05
"	0.281	91.57	9.44	34.51	16.75	16.75	16.65	196.63
"	0.250	90.46	9.33	34.10	16.55	16.55	16.45	194.26
24	0.625	156.79	16.17	59.10	28.68	28.68	28.51	336.70
"	0.562	152.61	15.74	57.53	27.92	27.92	27.75	327.81
"	0.500	148.61	15.33	56.62	27.19	27.19	27.02	319.13
"	0.469	147.30	15.19	55.52	26.95	26.95	26.78	316.31
"	0.438	144.65	14.92	54.53	26.46	26.46	26.30	310.63
"	0.406	142.73	14.72	53.80	26.11	26.11	26.05	306.50
"	0.375	140.84	14.53	53.09	25.77	25.77	25.61	302.45
"	0.344	139.04	14.34	52.41	25.44	25.44	25.28	298.57
"	0.312	137.13	14.15	51.69	25.09	25.09	25.03	294.48
"	0.281	135.36	13.96	51.03	24.76	24.76	24.61	290.68
"	0.250	133.67	13.69	50.39	24.45	24.45	24.30	287.04
22	0.500	228.67	23.59	86.20	41.83	41.83	41.58	491.04
"	0.469	225.41	23.25	84.97	41.24	41.24	41.19	484.05
"	0.438	221.93	22.90	83.66	40.60	40.35	40.35	476.57
"	0.406	218.93	22.58	82.52	40.05	40.05	39.81	470.11
"	0.375	215.72	22.25	81.32	39.47	39.47	39.12	463.25
"	0.344	212.60	21.93	80.14	38.90	38.90	38.66	456.54
"	0.312	209.01	21.62	79.02	38.35	38.35	38.11	450.13
"	0.281	206.57	21.31	77.87	37.79	37.79	37.56	443.59
"	0.250	203.71	21.02	76.79	37.27	37.27	37.04	437.46
"	0.219	200.74	20.71	75.67	36.73	36.73	36.50	431.08

T A B L A III.- Pérdidas de Energía por fricción en lb/in².

De in	esp. in	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
		(lb/in ²)						
20	0.500	368.39	38.01	138.87	67.40	67.40	66.99	791.09
"	0.469	362.51	37.40	136.65	66.32	66.32	65.32	778.46
"	0.438	356.78	36.81	134.49	65.28	65.28	64.88	766.15
"	0.406	350.79	36.19	132.23	64.18	64.18	63.78	753.28
"	0.375	345.40	35.64	130.20	63.19	63.19	62.81	741.71
"	0.344	339.97	35.08	128.16	62.20	62.20	61.82	730.06
"	0.312	334.36	34.50	126.04	61.17	61.17	60.80	718.01
"	0.281	328.22	33.97	124.10	60.23	60.23	59.86	706.97
"	0.250	324.02	33.43	122.15	59.28	59.28	58.92	695.81
"	0.219	319.04	32.91	120.27	58.37	58.37	58.01	685.10
18	0.500	624.38	64.42	235.37	114.24	114.24	113.54	1340.78
"	0.469	613.85	63.34	231.40	112.31	112.31	111.62	1318.18
"	0.438	605.23	62.45	228.15	110.73	110.73	110.05	1299.67
"	0.406	591.62	61.04	223.02	108.24	108.24	107.56	1270.44
"	0.375	580.81	59.93	218.95	106.27	106.27	105.61	1247.23
"	0.344	570.80	58.89	215.17	104.43	104.43	103.79	1225.73
"	0.312	560.56	57.84	211.31	102.56	102.56	101.93	1203.74
"	0.281	550.72	56.82	207.60	100.76	100.76	100.14	1182.61
"	0.250	541.10	55.83	203.98	99.00	99.00	98.39	1161.96
"	0.219	531.78	54.87	200.46	97.30	97.30	96.70	1141.94
16	0.500	1116.85	115.24	421.02	204.35	204.35	203.09	2398.32
"	0.469	1095.14	113.00	412.83	200.37	200.37	199.14	2351.69
"	0.478	1072.75	110.69	404.40	196.28	196.28	195.07	2303.62
"	0.406	1058.46	109.21	399.01	193.66	193.66	192.47	2264.75
"	0.375	1029.41	106.22	388.06	188.35	188.35	187.19	2210.55
"	0.344	1008.74	104.08	380.27	184.57	184.57	183.43	2166.17
"	0.312	988.74	102.02	372.73	180.91	180.91	179.79	2123.21
"	0.281	968.70	99.95	365.17	177.24	177.24	176.15	2080.17
"	0.250	949.21	98.01	358.09	173.80	173.80	172.72	2039.93
"	0.219	930.84	96.04	350.90	170.31	170.31	169.26	1998.87
14	0.500	2170.96	224.01	818.39	397.32	397.32	394.78	4661.89
"	0.469	2120.25	218.77	799.28	387.24	387.24	385.56	4553.01
"	0.438	2071.81	213.78	787.02	379.08	379.08	376.75	4448.99
"	0.406	2034.56	209.93	766.97	372.26	372.26	369.97	4369.00
"	0.375	1988.06	205.13	749.44	363.75	363.75	361.52	4269.15
"	0.344	1950.51	201.26	735.29	356.88	356.88	354.69	4188.51
"	0.312	1897.41	195.78	715.27	347.16	347.16	345.03	4074.47
"	0.281	1854.41	191.34	699.06	339.30	339.30	337.21	3982.14
"	0.250	1811.20	186.89	682.17	331.39	331.39	329.36	3889.36
"	0.219	1763.87	182.00	664.93	322.72	322.72	320.75	3787.71

3. 3.- CAIDAS DE PRESION TOTALES Y PRESIONES DE DISEÑO

Haciendo un balance de energía entre cada una de las sub-estaciones, - se obtiene la presión máxima que ejerce el fluido dentro de la tubería. Esta presión debiera ser siempre menor a la presión de resistencia del tubo. - Si la presión del fluido es mayor, el tubo no sirve y por lo tanto se descarta. La presión de diseño del tubo se calcula a partir de la ecuación de Barlow de resistencia de materiales.

$$P_D = \frac{2 t SE}{D_o}$$

en donde :

P_D = Presión de diseño del tubo lb/in².

t = Espesor de pared supuesto in.

D_o = Diámetro exterior in.

SE = Esfuerzo máximo permisible para tubos soldados de grado X52 de - acero, según código API 5LX = 20,400.

La presión del fluido se calcula haciendo un balance de energía entre cada una de las sub-estaciones.

$$\Delta P_f = \Delta H_f + \Delta Z \phi + \Delta P$$

en donde :

ΔP_f = Presión del fluido lb/in².

ΔH_f = Caída de presión por fricción entre cada sub-estación lb/in².

ΔZ = Altura entre cada sub-estación ft.

ϕ = Factor de conversión de ft lb/lb a lb/in².

ΔP = Presión atmosférica + presión final = 34.7 lb/in².

Todos los datos encontrados se anotan en la tabla No. IV. Cuando la - presión del fluido sobrepasa a la presión de resistencia de materiales del tubo, no se hace ninguna anotación en la tabla, es decir, no se debe utilizar el tubo indicado.

T A B L A IV.- Caidas de Presión Totales y Presión de Diseño.

De	esp.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T	
in	in	P_D lb/in ²	P R E S I O N D E L F L U I D O lb/in ²						
28	0.625	930.71	591.97	551.43	585.77	530.30	561.83	414.61	-217.29
"	0.562	818.91	591.31	551.27	585.16	530.01	561.54	414.32	-220.62
"	0.500	728.57	590.80	551.10	584.57	529.72	561.25	414.03	-223.97
"	0.469	683.39	590.07	551.03	584.30	529.59	561.12	413.90	-225.52
"	0.438	638.22	589.29	550.95	584.00	529.45	560.97	413.76	-227.20
"	0.406	591.59	588.45	550.87	583.72	529.32	560.84	413.62	-228.79
"	0.375	546.42	587.109	550.79	583.44	529.19	560.70	413.49	-230.43
"	0.344	501.25				529.05		413.26	-231.94
"	0.312	454.62						413.22	-233.53
"	0.281	409.45						413.10	-235.00
"									
26	0.625	980.76	627.90	554.93	598.55	536.51	568.23	420.76	-144.35
"	0.562	881.90	625.32	554.66	597.57	536.04	567.76	420.22	-149.91
"	0.500	784.61	622.86	554.41	596.55	535.59	567.31	419.84	-155.18
"	0.469	735.96	621.66	554.29	596.20	535.37	567.09	419.62	-157.76
"	0.438	687.32	620.46	554.16	595.84	535.15	566.87	419.42	-160.33
"	0.406	637.10	619.22	554.04	595.28	534.93	566.24	419.20	-162.99
"	0.375	588.46	618.08	553.92	594.85	534.72	566.03	418.99	-165.44
"	0.344	539.81		553.80		534.51	565.82	418.79	-167.85
"	0.312	489.59				534.30		418.57	-170.38
"	0.281	440.95						418.37	-172.80
"	0.250	392.30						418.17	-175.17
"									
24	0.625	1062.50	680.02	560.27	618.15	557.02	577.64	430.23	-32.73
"	0.562	955.40	675.84	559.86	616.58	556.26	576.88	429.47	-41.72
"	0.500	850.00	671.84	559.45	615.07	553.53	576.15	428.74	-50.30
"	0.469	797.30	670.53	559.31	614.57	555.29	575.91	428.50	-53.12
"	0.438	744.60	667.78	559.04	613.58	554.80	575.42	428.02	-58.80
"	0.406	690.20	665.86	558.84	612.85	554.45	575.07	427.67	-62.93
"	0.375	637.50	663.97	558.65	612.14	554.11	574.73	427.33	-66.98
"	0.344	584.86		558.46	611.48	553.78	574.40	427.00	-70.86
"	0.312	530.40		558.27		553.57	574.05	426.65	-74.95
"	0.281	477.70						426.33	-78.75
"	0.250	425.00						426.02	-82.39
"									
22	0.500	927.27	752.63	567.89	645.24	570.06	590.59	443.30	121.61
"	0.469	869.77	749.37	567.35	644.01	569.47	590.00	442.71	114.62
"	0.438	812.28	745.89	567.00	642.70	568.83	589.36	442.07	107.14
"	0.406	752.94	742.88	566.68	641.56	568.28	588.81	441.53	100.68
"	0.375	695.45	739.88	566.35	640.36	567.70	588.23	440.84	93.82
"	0.344	637.96		566.03	639.18	567.13	587.66	440.38	87.11
"	0.312	578.61		565.72		566.58	587.02	439.83	80.70
"	0.281	521.12		565.47		566.02		439.28	74.16
"	0.250	463.63						438.76	68.63
"	0.219	406.14						438.02	61.45

T A B L A IV.- Caidas de Presión Totales y Presión de Diseño.

De	esp.		PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
		P_D	P R E S I O N D E L F L U I D O						
in	in		lb/in ²						
20	0.500	1020.00	896.48	582.19	697.91	595.63	616.26	468.71	421.66
"	0.469	956.76	891.36	581.58	695.69	594.55	615.18	467.64	409.03
"	0.438	893.53	877.87	581.00	693.53	593.51	614.14	466.60	396.72
"	0.406	828.24	872.88	580.37	691.27	592.41	613.03	465.50	383.85
"	0.375	765.00		579.82	689.24	591.42	612.05	464.53	372.28
"	0.344	701.76			687.20	590.43	611.06	463.54	360.63
"	0.312	636.48			685.08	589.40	610.03	462.52	348.58
"	0.281	573.24				588.46	609.09	461.58	337.54
"	0.250	510.00						460.64	326.37
"	0.219	446.76						459.78	315.67
18	0.500	1133.33	1127.47	608.44	794.37	631.58	663.10	515.26	971.35
"	0.469	1063.06	1106.94	607.36	790.40	629.65	661.17	513.34	948.75
"	0.438	992.79	1098.82	606.47	787.10	628.07	659.59	511.77	930.24
"	0.406	920.26		605.06	782.02	625.58	657.10	509.30	901.01
"	0.375	849.94		603.95	777.95	623.61	655.13	507.33	877.88
"	0.344	779.73		602.91	774.17	621.77	653.29	505.51	
"	0.312	707.73		601.86	770.82	619.90	651.42	503.65	
"	0.281	636.93		600.84		618.10	649.82	501.86	
"	0.250	566.66		599.88		616.84		500.11	
"	0.219	496.39						498.82	
16	0.500	1275.00	1629.84	658.36	980.09	717.79	753.19	604.81	2020.88
"	0.469	1195.95	1	656.12	971.87	715.81	749.21	600.86	
"	0.438	1116.90		653.81	963.44	713.72	745.12	596.79	
"	0.406	1035.30		652.33	958.05	711.00	742.50	594.18	
"	0.375	956.25		649.34	947.10	705.69	737.19	588.91	
"	0.344	877.20		648.20	939.82	701.91	733.46	585.15	
"	0.312	795.60		646.14		698.25	729.75	581.51	
"	0.281	716.66		644.07		694.58	726.70	577.87	
"	0.250	637.50		642.82		692.74		574.45	
"	0.219	558.45						570.98	
14	0.500	1457.14	2629.08	770.13	1359.43	914.66	946.18	796.50	4292.88
"	0.489	1366.79		764.89	1340.32	905.28	936.80	781.28	
"	0.438	1276.45		759.90	1322.08	896.42	927.94	778.97	
"	0.406	1183.19		756.05		889.60	921.12	771.69	
"	0.375	1092.85		751.25		881.06	912.61	763.24	
"	0.344	1002.51		747.38		874.22	905.74	756.41	
"	0.312	909.25		741.90		864.50	896.02	746.75	
"	0.281	818.91		737.46		856.64	888.76	738.93	
"	0.250	728.57		733.07		848.78		732.08	
"	0.219	638.22							

3. 4.- E S P E S O R E S M I N I M O S

Con las presiones que ejerce el fluido se calculan los espesores mínimos para todos los diámetros, por medio de la ecuación de Barlow.

$$t_D = \frac{P_f D_o}{2 S E}$$

en donde :

t_D = Espesor de diseño.

P_f = Presión del fluido.

El espesor de diseño indica cuál es el espesor mínimo que se debe utilizar en cada sub-estación exclusivamente para tubería nueva. Pero como la tubería va a sufrir un desgaste en el transcurso del tiempo, se debe prever cual va hacer el desgaste por los factores ya mencionados como son la corrosión, erosión y los factores que intervienen directa o indirectamente en el desgaste de la tubería. Para hacer esto se aumenta a la formula de la ecuación de Barlow el factor C, que tendrá un valor empírico de 0.1156 in., dato encontrado en la literatura para la suma de los desgastes mencionados para este problema en particular.

$$t_m = t_d + C = t_D + 0.1156 \text{ in.}$$

en donde :

t_m = Espesor mínimo utilizado

Similarmente a lo que se hizo anteriormente en los casos de presión, se hará ahora para espesores. Cuando los espesores mínimos son mayores a los espesores supuestos, el tubo no cumplirá las condiciones que se han previsto, por lo tanto no servirá y solamente se anotaran los valores menores a los supuestos, (tabla No. V) .

T A B L A V.- Espesores Mínicos (in).

De	esp.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	in				(in)			
36	0.625	0.5783	0.5799	0.5983	0.5578	0.5856	0.4558	0.4185
"	0.562	0.5770	0.5797	0.5980	0.5577	0.5858	0.4557	0.4192
"	0.500				0.5570		0.4556	0.4200
"	0.469						0.4558	0.4203
"	0.438							0.4206
"	0.406							0.4200
"	0.375							
"	0.344							
"	0.312							
"	0.281							
34	0.625	0.5584	0.5547	0.5736	0.5343	0.5605	0.4379	0.3895
"	0.562	0.5580	0.5546	0.5738	0.5342	0.5604	0.4378	0.3904
"	0.500	0.5578	0.5548		0.5347	0.5608	0.4377	0.3914
"	0.469						0.4376	0.3917
"	0.438						0.4375	0.3922
"	0.406						0.4378	0.3927
"	0.375							0.3928
"	0.344							
"	0.312							
"	0.281							
32	0.625	0.5399	0.5297	0.5495	0.5111	0.5358	0.4202	0.3571
"	0.562	0.5393	0.5296	0.5493	0.5109	0.5357	0.4201	0.3584
"	0.500	0.5397	0.5298	0.5497	0.5107	0.5358	0.4200	0.3596
"	0.469						0.4198	0.3599
"	0.438						0.4197	0.3608
"	0.406						0.4198	0.3615
"	0.375							0.3620
"	0.344							0.3628
"	0.312							
"	0.281							
30	0.625	0.5236	0.5048	0.5263	0.4882	0.5114	0.4031	0.3198
"	0.562	0.5228	0.5047	0.5260	0.4880	0.5112	0.4030	0.3215
"	0.500	0.5277	0.5048	0.5257	0.4879	0.5118	0.4029	0.3232
"	0.469				0.4878		0.4028	0.3241
"	0.438						0.4027	0.3249
"	0.406						0.4026	0.3256
"	0.375						0.4028	0.3265
"	0.344							0.3273
"	0.312							0.3287
"	0.281							

T A B L A V.- Espesores Míminos (in).

De	esp.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	in				(in)			
20	0.500		0.3911	0.4478	0.3923	0.4078	0.3355	0.3124
"	0.469		0.3908	0.4467	0.3918	0.4072	0.3349	0.3062
"	0.438		0.3905	0.4458	0.3913	0.4067	0.3344	0.3002
"	0.406		0.3902		0.3908	0.4062	0.3339	0.2939
"	0.375		0.3898		0.3902	0.4058	0.3334	0.2882
"	0.344						0.3329	0.2825
"	0.312						0.3324	0.2766
"	0.281							0.2712
"	0.250							0.2668
"	0.219							
18	0.500		0.3751	0.4571	0.3853	0.3992	0.3340	
"	0.469		0.3746	0.4554	0.3845	0.3984	0.3332	
"	0.438		0.3742	0.4548	0.3858	0.3977	0.3325	
"	0.406		0.3736		0.3827	0.3966	0.3316	
"	0.375		0.3731		0.3821	0.3958	0.3307	
"	0.344		0.3727				0.3229	
"	0.312						0.3224	
"	0.281							
"	0.250							
"	0.219							
16	0.500		0.3659	0.4920	0.3982	0.4030	0.3449	
"	0.469		0.3652	0.4914	0.3884	0.4015	0.3433	
"	0.438		0.3643		0.3876	0.3999	0.3417	
"	0.406		0.3637		0.3865	0.3988	0.3407	
"	0.375		0.3625		0.3859	0.3978	0.3386	
"	0.344		0.3621				0.3364	
"	0.312						0.3359	
"	0.281							
"	0.250							
"	0.219							
14	0.500		0.3729		0.4225	0.4333	0.3820	
"	0.469		0.3711		0.4191	0.4301	0.3788	
"	0.438		0.3694		0.4162	0.4271	0.3758	
"	0.406		0.3681		0.4156	0.4266	0.3735	
"	0.375		0.3664				0.3706	
"	0.344		0.3658				0.3678	
"	0.312							
"	0.281							
"	0.250							
"	0.219							

3. 5.- ESPESORES DE DISEÑO

De los datos encontrados anteriormente se hace un resumen que se anota en la tabla No. VI. De la tabla anterior se observa que existen uno o más diámetros que es posible utilizar, pero haciendo un análisis se observa que se puede utilizar solamente el diámetro mínimo de esos valores. - - Además de eso, teniendo solamente un valor para cada diámetro, el que se utilizará será el más próximo, o sea el inmediatamente superior que exista en el comercio. Con la tabla VI se hacen todos los calculos que faltan. Con esto se tiene ya el espesor mínimo necesario para cada uno de los diámetros.

T A B L A VI.- Espesores de Diseño (in)

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	in	in	in	in	in	in	in
36	0.625	0.625	0.625	0.562	0.625	0.500	0.438
34	0.562	0.562	0.625	0.562	0.562	0.438	0.406
32	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.438	0.375
30	0.562	0.562	0.562	0.500	0.562	0.406	0.344
28	0.562	0.500	0.562	0.469	0.500	0.406	0.312
26	0.500	0.469	0.500	0.469	0.469	0.375	0.250
24	0.500	0.438	0.469	0.438	0.469	0.375	0.250
22		0.438	0.469	0.406	0.438	0.344	0.219
20		0.406	0.469	0.406	0.406	0.344	0.281
18		0.375	0.469	0.406	0.406	0.344	
16		0.375	0.469	0.406	0.406	0.344	
14		0.375		0.438	0.438	0.375	

3. 6.- PERDIDA POR FRICCIÓN
(MODIFICADAS)

Ahora se trabaja exclusivamente con los datos de la tabla No. VI y - con la ayuda de la tabla No. II se obtiene la caída de presión por fricción pero ahora en otras unidades, se multiplica la caída de presión por fricción por cada 1,000 ft de tubería por la distancia entre sub-estaciones y se anotan en la tabla No. VII.

Los datos de la tabla No. II son los modificados, es decir se están incluyendo los desgastes de la tubería.

T A B L A VII.- Caídas de Presión por Fricción en ft lb/lb.

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	ft lb/lb						
36	74.23	7.65	27.98	13.58	13.33	12.91	151.22
34	96.02	9.90	36.88	17.56	17.56	16.82	196.92
32	128.66	13.27	48.50	23.54	23.54	22.50	260.60
30	176.25	18.18	66.44	31.55	32.24	30.39	351.30
28	234.51	24.19	88.40	42.45	42.90	41.22	470.52
26	345.40	35.97	130.20	62.44	62.44	59.80	672.56
24	514.48	52.52	192.72	91.63	93.30	88.66	993.65
22		80.58	294.16	138.66	140.57	133.84	1494.30
20		127.36	473.08	222.18	222.18	214.02	2447.29
18		210.88	801.05	374.72	374.72	359.32	
16		376.76	1457.45	670.41	670.41	635.01	
14		721.83		1312.24	1312.24	1251.49	

3. 7.- PERDIDAS DE PRESION TOTALES (MODIFICADAS)

Para conocer el trabajo efectuado entre cada una de las sub-estaciones, se hace un balance de energía utilizando la ecuación de Bernoulli.

$$W = \Delta H_f + \Delta Z \frac{K}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho}$$

en donde :

W = Trabajo efectuado entre las sub-estaciones ft lb/lb.

ΔH_f = Las pérdidas por fricción ft lb/lb.

ΔZ = Diferencia de alturas ft.

$\frac{K}{g_c}$ = Factor de conversión de unidades.

ΔP = Presión final - presión inicial lb/in².

ρ = Densidad del fluido lb/ft³.

T A B L A VIII.- Caidas de Presión Totales en ft lb/lb

Dert.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	ft lb/lb						
36	1426.75	1418.40	1480.07	1350.19	1437.21	1029.31	-967.91
34	1448.54	1420.65	1488.87	1354.15	1441.44	1033.23	-922.21
32	1481.18	1424.12	1500.59	1361.15	1447.40	1038.90	-858.53
30	1528.77	1428.93	1518.53	1368.10	1456.12	1046.79	-767.83
28	1587.03	1434.94	1540.49	1379.05	1466.87	1057.62	-648.61
26	1697.92	1446.72	1582.29	1399.05	1486.32	1076.20	-446.54
24	1867.00	1463.27	1644.81	1428.24	1517.18	1105.06	-125.48
22		1491.33	1746.25	1475.27	1564.45	1150.24	375.17
20		1538.11	1925.17	1558.79	1646.08	1230.42	1328.16
18		1621.73	2253.14	1711.33	1798.60	1375.72	
16		1784.51	2909.54	2007.02	2094.29	1651.11	
14		2132.58		2648.85	2736.12	2267.89	

3. 8.- P O T E N C I A D E L A S B O M B A S

La potencia necesaria para mover los 150,000 EPD en cada una de las sub-estaciones se evalúa a partir del trabajo efectuado, convirtiendo los ft lb/lb en caballos de fuerza, partiendo de la tabla No. VIII al ser multiplicado por el gasto en ft^3/seg y modificandola por un factor de conversión.

En la tabla No. IX se detalla dicha potencia. Esto será suponiendo — que las bombas trabajan con un 100 % de eficiencia, pero como esto no es posible en la práctica por causas de los rozamientos mecánicos y de otros factores que intervienen en el funcionamiento de las bombas. El dato de la eficiencia como se ha visto anteriormente, lo proporcionará el fabricante de bombas por medio de las gráficas de eficiencia contra capacidad. En este caso la eficiencia estará comprendida entre el 65 y el 70 %, para la cual se hace una tabla que permita conocer estos resultados, (tabla No. — IX-A).

T A B L A IX.- Potencia de las Bombas en Hp (eficiencia 100 %).

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	Hp	Hp	Hp	Hp	Hp	Hp	Hp
36	1314	1306	1363	1243	1324	948	-895
34	1334	1308	1371	1247	1327	952	-849
32	1364	1318	1382	1254	1333	957	-790
30	1408	1316	1398	1260	1341	964	-707
28	1462	1322	1419	1270	1350	974	-597
26	1563	1332	1457	,1288	1369	991	-411
24	1719	1347	1515	1315	1397	1017	-115
22		1373	1608	1358	1440	1059	345
20		1416	1773	1435	1516	1133	1223
18		1493	2075	1576	1656	1267	
16		1643	2680	1848	1929	1550	
14		1964		2440	2520	2027	

T A B L A IX-A.-- Potencia de las Bombas en Hp (eficiencia 70 %).

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	Hp	Hp	Hp	Hp	Hp	Hp	Hp
36	1877	1866	1947	1776	1891	1354	
34	1906	1869	1959	1782	1897	1359	
32	1949	1873	1974	1791	1904	1367	
30	2011	1880	1998	1800	1916	1377	
28	2088	1888	2027	1814	1930	1392	
26	2234	1903	2082	1841	1956	1416	
24	2456	1925	2164	1879	1996	1454	
22		1962	2297	1941	2058	1513	494
20		2024	2533	2051	2166	1619	1747
18		2134	2964	2252	2366	1810	
16		2348	3828	2641	2755	2215	
14		2806		3485	3600	2896	

4.- C O S T O S.

4.- C O S T O S.

Es uno de los factores más importantes en la elección del Diámetro Óptimo.

Los resultados de las Tablas VI y IX-A expresan los espesores mí-nimos que se pueden utilizar para los diámetros supuestos y la potencia de las bombas para cada uno de esos diámetros, pero sin decir - - cual de todos estos diámetros y por consiguiente que potencia de bombas se deben utilizar.

Para conocer el diámetro óptimo, es necesario saber el costo total, que es la suma de los costos fijos y los costos variables. Los - costos fijos que tendrán mayor trascendencia son : el costo de la tubería, el costo de las bombas y el costo de los motores. Los costos - variables mas trascendentes serán los costos de energía eléctrica.

Otro tipo de costos como son los de instalación, no se tomarán - en cuenta en el resultado final, ya que serán hechos a base de porcen-tajes, y no afectarán sensiblemente a los resultados ya obtenidos.

El diámetro óptimo puede ser conocido directamente de las tablas ó por medios gráficos.

Todos los costos tendrán una actualización hasta el año 1974, me diante los índices de Marshall - Stevens.

4. 1.- C O S T O D E T U B E R I A

El costo de la tubería como se ha visto anteriormente ha sido proporcionado por la Cía. Manufacturera de Tubos TUBACERO S. A., costos que se han tomado hasta el año de 1972. La corrección se ha hecho con los índices de Marshall-Stevens hasta el año de 1974, el cual se ha tomado como base para todos los cálculos de costos.

Además, estos costos han sido hechos sin tomar en cuenta la instalación, ya que no influyen sustancialmente en el costo total. Los costos de instalación van a estar hechos en base a un porcentaje del costo de compra de la tubería.

En la tabla No. X se ha hecho el costeo de la tubería, tomando como base los datos de la tabla No. VI.

T A B L A X.- Costo de Tuberfa.

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
36	83.252,105	8.732,035	31.383,668	15.232,631	13.211,161	11.410,458	125.975,552
34	70.065,295	7.348,915	29.618,703	12.879,841	12.879,841	9.943,164	109.234,776
32	64.898,476	6.806,985	24.464,865	11.874,469	11.874,469	9.233,782	93.567,010
30	60.156,913	6.309,658	22.677,440	9.673,555	11.006,905	7.944,677	79.674,817
28	50.743,221	5.217,400	19.751,775	8.546,773	9.101,513	7.370,441	67.126,789
26	45.891,605	4.528,882	17.299,826	7.900,426	7.900,426	6.289,804	49.765,045
24	41.888,570	3.831,785	14.963,313	6.684,371	7.230,144	5.702,169	45.666,059
22		3.491,998	13.420,306	5.654,928	6.091,630	4.775,668	36.120,231
20		2.903,092	12.014,503	5.064,310	5.064,310	4.273,172	41.411,742
18		2.369,316	10.726,360	4.523,157	4.523,157	3.788,927	
16		1.823,613	9.016,563	3.592,222	3.592,222	3.037,134	
14		1.505,003		3.287,465	3.287,465	2.609,331	

4. 2.- C O S T O D E B O M B A S

Las bombas recomendadas serán de acuerdo a las características y con diciones del fluido, siendo del tipo: de acero, horizontales, de cinco pa sos y doble succión y con características especiales en el diseño interno que va a dar el fabricante de bombas. Las capacidades de las bombas serán de 1,000 y 500 GPM. Los reemplazos de las bombas también serán de las mis mas capacidades y condiciones. Las bombas con capacidad de 1,000 GPM, ten drán un costo arroximado de \$ 195,000.00 c/u, y las de 500 GPM su costo - será de \$ 140,000.00 c/u.

En cada estación de bombeo se tendrán tres bombas de 1,000 GPM en — servicio y una de reserva, por lo que el costo de las bombas con esta ca pacidad en cada una de las sub-estaciones será de \$ 780,000.00

Las bombas de 500 GPM en servicio serán tres y de reserva se tendrán dos, para hacer un total de cinco en cada sub-estación, dando un costo to tal de \$ 700,000.00

El costo total de las bombas en cada una de las sub-estaciones, es - de \$ 1'480,000.00

4. 3.- C O S T O D E M O T O R E S

Es una de las partes esenciales en la economía del proyecto. Es lo - que va a determinar junto con el costo de la tubería, el Diámetro Económico. También va a estar ligado a los costos fijos, los costos variables de consumo de energía eléctrica, los cuales se tomarán a determinado plazo y que será de diez años, para efectuar los cálculos. Estos tres puntos son los que van a determinar en definitiva, cual va a ser el Diámetro Económico y cuales bombas se utilizarán en cada sub-estación.

El tipo de motores que se utilizarán, son de los llamados jaula de - ardilla, totalmente cerrados y a prueba de explosiones, trifásicos, de 60 ciclos, 2,300 volts y 3,550 RPM. El costo de los motores será aproximado, datos que hemos ajustado al año de 1974. (Tabla XI).

T A B L A XI.- Costo de Motores.

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
36	1.342,575	1.331,850	1.410,825	1.244,100	1.356,225	832,650	
34	1.383,037	1.334,775	1.422,525	1.249,950	1.362,075	837,525	
32	1.412,775	1.338,675	1.437,150	1.258,725	1.368,900	845,325	
30	1.473,225	1.345,500	1.460,550	1.267,500	1.380,600	855,075	
28	1.548,000	1.353,300	1.488,825	1.281,250	1.392,275	869,700	
26	1.690,650	1.367,925	1.542,450	1.307,475	1.419,600	893,100	
24	1.907,100	1.389,375	1.622,400	1.344,525	1.458,600	930,150	
22		1.452,450	1.752,075	1.404,975	1.519,050	987,675	243,750
20		1.485,900	1.982,175	1.512,225	1.624,350	1.091,025	1.218,262
18		1.583,400	2.402,400	1.708,200	1.819,350	1.277,250	
16		1.803,018	3.244,800	2.087,475	2.442,375	1.671,150	
14		1.750,850		2.910,375	3.022,500	2.579,850	

4. 4.- C O S T O D E E N E R G I A E L E C T R I C A

El costo de la Energía Eléctrica será tomando como base los caballos de fuerza (Hp) de la Tabla No. IX-A, los cuales serán transformados a las unidades convencionales de la energía eléctrica que son los Kilo Watts — (Kw), anotados en la Tabla No. XII. El costo de la Energía Eléctrica se tomará como base en los acuerdos que se tienen entre la Comisión Federal de Electricidad y PEMEX, que es de \$ 0.15 el Kilo Watt-Hora.

El costo de la Energía Eléctrica tomando como base diez años, se encuentran anotados en la Tabla No. XIII.

Los costos fijos sumados a los costos variables que es la Energía — Eléctrica, darán como resultado el costo total, en donde el menor costo — será el Diámetro Optimo.

T A B L A XII.- Energía Eléctrica Necesaria en Kw-hr.

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw
36	1400	1391	1452	1324	1410	1009	
34	1421	1394	1461	1329	1414	1013	
32	1453	1397	1472	1335	1420	1019	
30	1500	1402	1490	1342	1429	1026	
28	1557	1408	1511	1353	1438	1038	
26	1666	1419	1552	1373	1458	1056	
24	1831	1435	1614	1401	1488	1084	
22		1463	1713	1447	1535	1128	368
20		1509	1890	1530	1615	1207	1303
18		1591	2210	1680	1765	1350	
16		1751	2854	1970	2055	1651	
14		1720		2598	2684	2159	

T A B L A XIII.- Costo de Energía Eléctrica.

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
36	18.396,000	18.277,740	19.079,280	17.397,360	18.527,400	13.258,260	
34	18.671,940	18.317,160	19.197,540	17.463,060	18.569,960	13.310,820	
32	19.092,420	18.356,580	19.342,080	17.541,900	18.658,800	13.379,660	
30	19.710,000	18.422,280	19.578,600	17.633,880	18.777,060	13.481,640	
28	20.458,890	18.511,120	19.854,540	17.778,420	18.895,320	13.639,320	
26	21.891,240	18.645,660	20.393,280	18.041,220	19.158,120	13.875,840	
24	24.059,340	18.855,900	21.207,796	18.409,140	19.552,320	14.243,760	
22		19.092,420	22.508,820	19.013,580	20.169,900	14.821,920	4.883,552
20		19.828,260	24.821,460	20.091,060	21.221,100	15.859,980	17.121,420
18		20.905,740	29.039,400	23.062,060	23.178,960	17.739,000	
16		23.008,140	37.501,560	25.872,060	26.989,560	21.694,140	
14		22.600,800		34.137,720	35.267,760	28.369,260	

4. 5.- D I A M E T R O O P T I M O

La suma de los costos fijos y los costos variables dan el costo total para cada uno de los diámetros utilizados. Estos resultados se anotan en la Tabla No. XIV. Analizando esta tabla se observa que los costos disminuyen al disminuir los diámetros hasta cierto punto en que los costos llegan a un límite y empiezan a aumentar. Estos resultados de la tabla se pueden graficar para que los resultados se vean más claramente. - En esta gráfica se observa a la línea que va bajando hasta cierto punto y luego empieza a subir. El diámetro que se utilizará será el punto más bajo en la gráfica.

T A B L E XIV.- Costo Total.-

Dext.	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
in	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
36	102.990,680	28.341,625	51.873,773	33.874,091	33.094,786	25.492,368	125.975,552
34	90.120,272	27.000,850	50.238,768	31.592,851	32.821,871	24.091,509	109,234,776
32	85.403,674	26.502,240	45.244,095	30.665,094	31.902,169	23.468,767	93.567,010
30	81.340,138	26.077,438	43.716,590	28.574,435	31.164,565	22.281,392	79.674,817
28	72.750,111	25.081,820	41.095,140	27.600,443	28.136,070	21.879,461	67.126,789
26	69.473,495	24.542,467	39.235,556	27.249,121	28.478,146	21.058.744	49.765,015
24	67.855,010	24.077,060	37.793,509	26.438,036	28.241,064	20.876,079	45.666,060
22		24.036,868	37.681,201	22.873,483	27.780,580	20.585,263	41.197,533
20		24.217,252	38.818,138	26.667,595	27.909,760	21.224,177	59.751,424
18		24.858,456	42,168,160	29.293,417	29.521,467	22.805,177	
16		26.634,731	49.762,923	31.551,757	33.024,157	26.502,424	
14		30.856,753		40.335,560	41.577,725	33.558,441	

5.- C O N C L U S I O N E S .

5.- CONCLUSIONES

Las características Optimas para el sistema estudiado son :

El fluido que se va a bombear son 150,000 BPD de crudo a una temperatura de 60° F, una densidad de 38.6° API y una viscosidad de 10 cp.

Las demas características como son el diámetro exterior, los espesores de pared, la potencia de las bombas, el costo de tubería, el costo de los motores, el costo de la energía eléctrica y el costo total del oleoducto estan resumidas en la Tabla XV, los cuales fueron sacados de las Tablas anteriores.

El número de Sub-estaciones como se ha visto es de 7. Los diámetros son obtenidos de la Tabla XIV del costo total, y serán los menores. Estos datos estan resumidos en el renglón 2 de la Tabla XV.

Los espesores correspondientes a los diámetros antes mencionados son obtenidos de la Tabla VI y anotados en el renglón 3 de la Tabla XV. El material utilizado en esas tuberías es de acero al carbón.

La potencia de las bombas para los diámetros antes mencionados son obtenidos de la Tabla IX-A y resumidos en el renglón 4 de la Tabla XV.

Los costos de la tubería, de los motores y de la energía eléctrica fueron obtenidos de las Tablas X, XI y XIII y anotados respectivamente en los renglones 5, 6 y 7 de la Tabla ya mencionada.

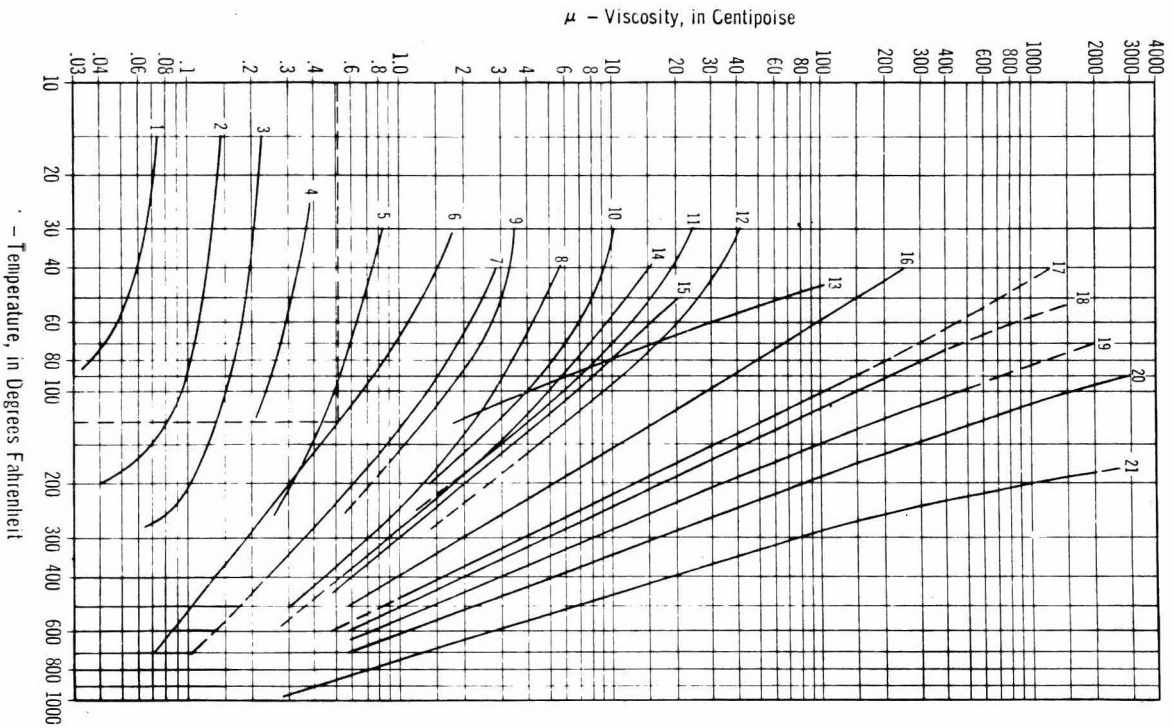
El costo total como se ha visto al obtener los diámetros de los tubos, se saco de la Tabla XIV y es el más economico. Esto está resumido en la Tabla XV renglón 8.

T A B L A XV.- Conclusiones.

1 Sub-estaciones	PR-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-T
2 D. exterior in	24	22	22	22	22	22	22
3 Espesores in	0.500	0.438	0.469	0.406	0.438	0.344	0.219
4 Potencia Hp	1720	1375	1610	1360	1440	1060	350
5 Costo de Tubería \$	41.888,570	3.491,998	13.420,306	5.654,928	6.091,630	4.775,668	36.120,231
6 Costo de Motores \$	1.907,100	1.452,450	1.752,075	1.404,975	1.519,050	987,675	243,750
7 Costo de Energía \$/1 año	2.405,934	1.909,242	2.250,882	1.901,358	2.016,990	1.482,192	488,355
8 Costo Total \$/10 años	67.855,010	24.036,868	37.681,201	22.873,483	27.780,580	20.585,263	41.197,533

6.- A P E N D I C E

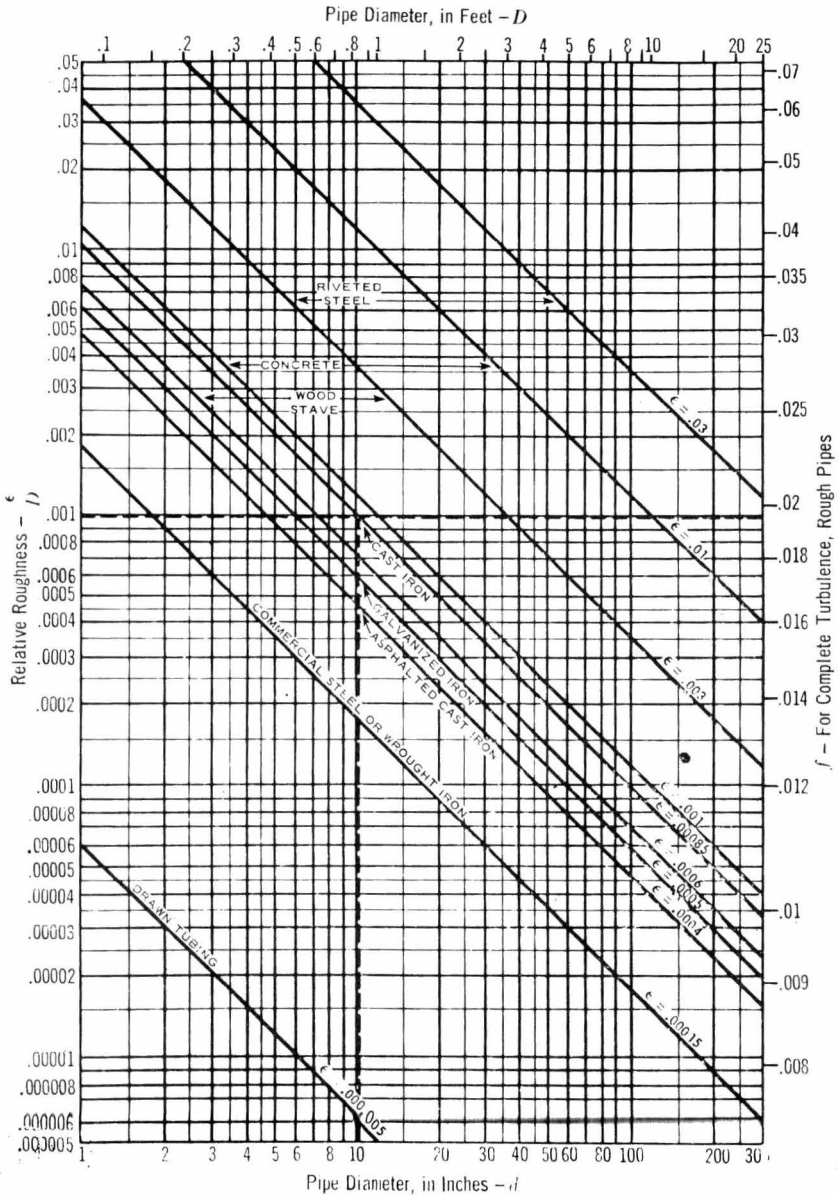
GRAFICA A-1 Viscosidad de agua y Líquidos Derivados del Petróleo.



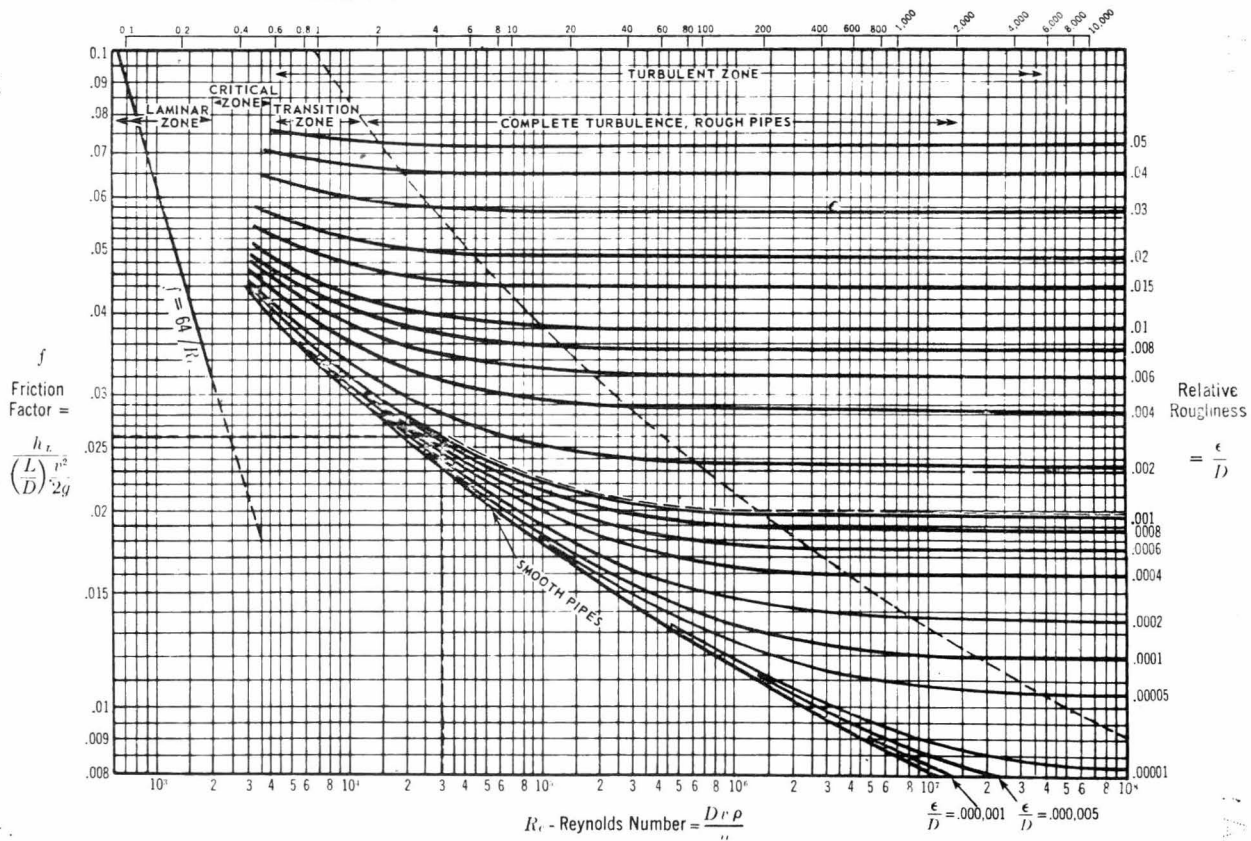
1. Ethane (C₂H₆)
2. Propane (C₃H₈)
3. Butane (C₄H₁₀)
4. Natural Gasoline
5. Gasoline
6. Water
7. Kerosene
8. Distillate
9. 48 Deg. API Crude
10. 40 Deg. API Crude
11. 35.6 Deg. API Crude
12. 32.6 Deg. API Crude
13. Salt Creek Crude
14. Fuel 3 (Max.)
15. Fuel 5 (Min.)
16. SAE 10 Lube (100 V.I.)
17. SAE 30 Lube (100 V.I.)
18. Fuel 5 (Max.) or Fuel 6 (Min.)
19. SAE 70 Lube (100 V.I.)
20. Bunker C Fuel (Max.) and M.C. Residuum
21. Asphalt

Data extracted in part
by permission from the
Oil and Gas Journal.

GRAFICA A-2 Rugosidad Relativa de Materiales para Tubos.



VALUES OF (vd) FOR WATER AT 60° F (VELOCITY IN FT./SEC. X DIAMETER IN INCHES)



GRÁFICA A-3 Factor de Fricción para cualquier Tipo de Acero Comercial.

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

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

- 1.- BOMBAS CENTRIFUGAS.- Selección, Operación y Mantenimiento.
Igor J. Karassik y Roy Carter.
- 2.- BOMBAS.- Selección y Aplicación.
Tyler G. Hicks.
- 3.- BOMBAS.- Teoría, Diseño y Aplicación.
Manuel Viejo Zubicaray.
- 4.- BOMBAS.- Revista IMIQ.
- 5.- MOTORES ELECTRICOS.- General Electric.
- 6.- MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO.
John H. Perry.
- 7.- PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS.
A. S. Foust.
- 8.- PIPING HANDBOOK.
Crocker & King.
- 9.- FLOW OF FLUIDS.
Crane.
- 10.- FLOW CALCULATION IN PIPE-LINING.
A special series of reprints from THE OIL AND GAS JOURNAL 1960.
- 11.- MANUAL DE TUBACERO S. A.
- 12.- API SPECIFICATION FOR HIGH-TEST LINE PIPE.
- 13.- MANUAL DE COSTOS DE TUBACERO S. A.