



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA EL ABASTECIMIENTO
DE COMBUSTIBLES A LAS AGENCIAS DE PETROLEOS
MEXICANOS EN CUERNAVACA Y CUAUTLA, MOR.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

RENAN GONZALEZ FUENTES

MEXICO, D. F.

1975



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
ADQ. 1975
FECHA
PROC. M.C. 740



QUÍMICA

PRESIDENTE CARLOS KOBEB HEDERE

Jurado asignado originalmente:

VOCAL ARTURO LOPEZ TORRES

SECRETARIO JOSE LUIS PADILLA DE ALBA

Según el Tema:

1er. SUPLENTE ENRIQUE JIMENEZ RUIZ

2o. SUPLENTE MARIO RAMIREZ Y OTERO

Sitio donde se desarrolló el tema: PETROLEOS MEXICANOS

Nombre completo del sustentante: RENAN GONZALEZ FUENTES

Nombre completo del asesor del tema: CARLOS KOBEB HEDERE

A mis padres,

Gilberto González Millán y
Leonor F. de González

a quienes todo debo,
con mi cariño y admiración.

A mis hermanos ,

Rosa, Gene Yolanda, Leonor,
Juan Manuel y Gilberto.

con mi mayor afecto.

A Silvia ,

Con el cariño de siempre.

Al Ing. Carlos Kobeh Hedere,

Por su invaluable ayuda en
la elaboración de este tema.

Al Ing. Arturo López Tórrés ,

Por su asesoría personal
y consejos para el mejo-
ramiento del presente trabajo.

A mi Facultad.

A mis Familiares y
amigos.

I N D I C E

		Página
CAPITULO I	INTRODUCCION	1
CAPITULO II	GENERALIDADES	3
CAPITULO III	BASES DEL ESTUDIO	30
CAPITULO IV	ALTERNATIVAS ESTUDIADAS	43
CAPITULO V	CALCULOS	46
CAPITULO VI	RESULTADO DEL CALCULO Y ANALISIS TECNICO	55
CAPITULO VII	EVALUACION ECONOMICA	59
CAPITULO VIII	CONCLUSIONES	66
CAPITULO IX	BIBLIOGRAFIA	67

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

El problema de la distribución de productos destilados de las Refinerías a las Agencias de Ventas, es de gran importancia para Petróleos Mexicanos, en virtud de la gran inversión que representa. En particular, es necesario gastar importantes cantidades de divisas para el alquiler de carros-tanque y autos-tanque, dos de los principales medios de distribución, usados en la actualidad.

Sabiendo que el transporte de productos por tubería, es uno de los medios más económicos de distribución y dadas las múltiples y costosas maniobras que se efectúan en el movimiento de combustibles para abastecer la zona centro de la República, se ha pensado en la conveniencia de modificar el actual sistema de distribución, por lo que el objetivo del presente estudio, será determinar, aunque específicamente para el Estado de Morelos, el medio más adecuado para el suministro de combustibles a dicha zona.

El diseño del oleoducto, solamente nos dá la cifra necesaria para su construcción y operación, mas no hace referencia a cómo se vería afectado el costo global de distribución. En esas condiciones se vió la necesidad de comparar los costos de distribución óptima para cada uno de los oleoductos diseñados. Esto se consigue mediante la aplicación de los

modelos matemáticos de transporte que, relativamente fácil permiten optimizar un sistema de distribución dado considerando solo las capacidades de los orígenes, las necesidades en los destinos y los costos de transporte de cada origen a cada destino.

La energía derivada del petróleo y de la cual depende casi íntegramente la vida industrial del País, debe estar disponible en todos los centros de actividad que la utilicen, y también esta disponibilidad, debe procurarse que sea en las mejores condiciones posibles económicamente hablando; ya que el precio y facilidades de aprovisionamiento de los combustibles que intervienen en la transformación de las materias primas, influyen de un modo preponderante en los costos de los artículos terminados y también en sus costos de transporte hasta los centros de consumo.

El presente estudio, tiene precisamente su base en el hecho de que los gastos por concepto de fletes que se originan por el transporte de los destilados desde su punto de origen hasta las terminales, son bastantes gravosos y por lo tanto, tiene como objetivo lograr reducirlos, sustituyendo el actual sistema de suministro por un nuevo sistema a base de poliductos que reporte además ventajas técnicas.

GENERALIDADES

Nadie hubiese pensado hace años que el petróleo, las gasolinas o el gas natural, pudieran ser enviados por medio de ductos, de un lugar a otro, distantes cientos y aún miles de kilómetros. Hoy día, en los países productores de petróleo, existen enormes oleoductos o gasoductos que transportan el preciado líquido desde los yacimientos a las refinerías o lugares de consumo.

En Estados Unidos, donde este sistema de transporte ha alcanzado un gran desarrollo, la red de oleoductos alcanzan más de 320,000 kilómetros de longitud; uno de los más importantes, es el de Wyoming a Whitina, cuya longitud es 1,700 kilómetros, el de Bayonne, Nueva Jersey, de más de 2900 kilómetros de longitud. En Rusia, hay algunos tan importantes, como el de Bakú a Batúm, que recorre todo el Cáucaso para llevar el petróleo a orillas del Mar Negro. El oleoducto de Kirkik, en el Irak, lleva el petróleo através de desierto, hasta el Mar Mediterraneo. En México, son importantes los poliductos que llegan a la Refinería de Azcapotzalco, de Poza Rica y Minatitlán.

El punto determinante para resolver la conveniencia y oportunidad de instalar y operar un oleoducto o línea de productos, es sin duda el volumen de petróleo por transportar y distribuir en el mercado en pers-

pectiva, y los costos de este transporte en comparación con los de otros sistemas.

Con las técnicas en uso, hace todavía pocos años, no era fácil precisar el momento en que se justificara el transporte de combustibles por oleoducto, debido a que el volumen total de productos que absorbe un mercado no es de composición homogénea, es decir, está constituido por diferentes volúmenes de distintos derivados del petróleo y en aquel entonces sólo se consideraba posible transportar un producto por cada tubería por temor a las contaminaciones entre los diversos destilados, que parecían muy difíciles de evitar y en consecuencia era necesario instalar tuberías diferentes, proposición mucho más costosa y difícil de justificar económicamente.

En la actualidad, este problema se ha reducido a su mínima expresión al sustituirse las condiciones normales de flujo laminar en las tuberías de bombeo por las de flujo turbulento, aumentando la velocidad de flujo de los líquidos dentro de los tubos. En esta forma, la práctica ha demostrado que la contaminación entre las superficies de contacto de dos productos distintos (superficies conocidas con el nombre de interfases) es insignificante, cuando se manejan volúmenes considerables que es el caso de las líneas de productos en que el bombeo se hace por lotes, eliminándose tan sólo de este sistema los productos negros (crudos y combustóleo), que si bien no contaminan sensiblemente los destilados en las interfases, sí tienen efecto

perjudicial por las cantidades de estos productos negros que quedan adheridos a la superficie del tubo y que inevitablemente mancharían los demás destilados.

A continuación se explican brevemente algunos de los factores que intervienen en el transporte de los fluidos.

PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.- De acuerdo con el aspecto físico que la materia adopta en la Naturaleza, se puede clasificar en tres estados o fases: sólidos, líquidos y gaseosos. Los dos últimos se conocen como fluidos.

A diferencia del cuerpo sólido, los fluidos, por su constitución molecular, pueden cambiar continuamente las posiciones relativas de sus partículas sin ofrecer gran resistencia al desplazamiento entre ellas, aún cuando éste sea muy grande.

La definición anterior, implica que si el fluido se encuentra en reposo, en su interior no pueden existir fuerzas tangenciales a ninguna superficie cualquiera que sea su orientación y que, dichas fuerzas, se presentan sólo cuando el fluido está en movimiento. Por el contrario, un sólido en reposo, sí admite fuerzas tangenciales a superficies en igualdad de condiciones, las cuales producen desplazamientos relativos entre sus

partículas con una magnitud perfectamente definida. Si el sólido es elástico y la fuerza no rebasa una cierta magnitud, éste recupera su forma original en el momento en que cesa la fuerza aplicada. Otra característica que distingue al fluido es que como no posee forma propia, adquiere la del recipiente que lo contiene.

Con las consideraciones anteriores, aparentemente resultaría claro distinguir los sólidos de los fluidos, sin embargo, existen sustancias cuya clasificación no es fácil, por ejemplo, el alquitrán, que a pesar de tener el aspecto de sólido, su comportamiento corresponde al de un fluido. En efecto, si se coloca un bloque de dicha sustancia sobre el piso, después de un período largo de tiempo, se notará que el material sufre lentamente un cambio en la forma del bloque. Por otra parte, ciertos sólidos llamados plásticos, fluyen cuando la fuerza rebasa cierta magnitud.

Los fluidos, poseen una propiedad distintiva de resistencia a la deformación cuando se sujetan a un esfuerzo tangencial y que explica su fluidez. Esta resistencia, llamada viscosidad, no sigue las mismas leyes de deformación de los sólidos, es decir, que los esfuerzos tangenciales que se producen en un fluido, no dependen de las deformaciones que este experimenta, sino de la rapidez con que éstas se producen. Todavía más, la ley de variación entre los esfuerzos tangenciales y la rapidez con que ocurren

las deformaciones es distinta, de acuerdo con el tipo de fluido que se trate; por ejemplo: en los llamados newtonianos, el esfuerzo tangencial es directamente proporcional a la rapidez de la deformación angular a partir de valores iniciales cero, siendo los casos más comunes el agua, el aire y algunos aceites minerales. Por el contrario, en los fluidos llamados no newtonianos, la variación entre esfuerzo tangencial y rapidez de deformación angular no es lineal, pues depende del tiempo de exposición al esfuerzo (su agitación) y de la magnitud del mismo. Es el caso del betún, de los compuestos de celulosa, de las grasas, pinturas de aceite, jabones, gomas, alquitrán, etc.

Otras sustancias, como las mezclas empleadas en la inyección de suelos: limo, bentonita, arcillas, etc., presentan un comportamiento que corresponde a los sólidos en tanto el esfuerzo no alcanza un cierto valor inicial, pues a partir de éste, se comportan como fluidos. Dichas sustancias se consideran dentro del tipo de fluidos de Bingham (también conocido como plástico ideal).

Fuera de la clasificación general, los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases. Considerando que un líquido, cualquiera que sea, tiene un volumen definido que varía solo ligeramente con la presión y la temperatura, al colocar cierta cantidad del mismo en un recipiente de mayor volumen, adopta la forma del mismo y deja una superficie libre o de contacto entre el líquido y su propio vapor, la atmósfera u otro gas presente.

No sucede lo mismo si igual cantidad de gas se coloca en el recipiente, ya que se expande hasta ocupar el máximo volumen que se le permita sin presentar una superficie libre. Sólo en estas condiciones, el gas logra su equilibrio estático.

Esta clasificación, se basa en la propiedad llamada compresibilidad, es decir, en su comportamiento bajo la acción de esfuerzos de compresión. En general, los líquidos se pueden clasificar como incompresibles. Por ejemplo, en el caso del agua, la reducción media del volumen en kg/cm^2 de presión es aproximadamente 0.005 por ciento del volumen original por el contrario, los gases son altamente compresibles bajo la acción de grandes cambios de presión.

A pesar de las diferencias señaladas, una buena parte del estudio del comportamiento de sólidos y fluidos sujetos a un sistema de fuerzas, es común a ambos, ya que si en el análisis de su comportamiento íntimo se omite la naturaleza aleatoria de su distribución molecular, los sólidos y los fluidos se pueden considerar medios que poseen continuidad en todas sus propiedades y ser estudiados bajo esta suposición.

El análisis riguroso del comportamiento íntimo de un fluido, debería considerar la acción de cada molécula individual, sin embargo, en las aplicaciones propias de la ingeniería, el centro de interés reside sobre

las condiciones medias de velocidad, presión, temperatura densidad viscosidad, etc., de ahí que en lugar de la conglomeración real de moléculas separadas se supone que el fluido es un medio continuo, es decir una distribución continua de materia sin espacios vacíos. Esta suposición es normalmente justificable, debido a que el número de moléculas consideradas en esta situación es muy grande y la distancia entre ellas, muy pequeña. Por esta razón, en el desarrollo de algunos de los siguientes conceptos, a menudo será necesario proponer la existencia de un elemento pequeño o partícula del fluido, la cual tendrá que ser suficientemente grande para contener muchas moléculas.

Densidad y Peso Específico.- La densidad ρ representa la masa de fluido contenida en la unidad de volumen, y sus dimensiones, en los sistemas absoluto y gravitacional son $[M L^{-3}]$ y $[F L^{-4} T^{-2}]$ respectivamente.

Desde un punto de vista matemático, la densidad en un punto, queda definida como:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V}$$

donde ΔM es la masa de fluido contenida en el elemento de volumen, ΔV que rodea al punto.

Estrechamente asociado con la densidad, está el peso específico, γ , que representa el peso del fluido por unidad de volumen, siendo sus dimensiones $[F L^{-3}]$.

Ambas propiedades, ρ y γ , se relacionan a través de la relación $\gamma = g \rho$, en que g , designa a la aceleración de la gravedad.

En ocasiones, se utiliza también el concepto de volumen específico, que es el volumen ocupado por la unidad de masa. Esto es, queda definido como el recíproco de la densidad.

$$V_s = \frac{1}{\rho}$$

y tiene como dimensiones

$$[L^3 M^{-1}]$$

Estrechamente ligada con la densidad, está la gravedad específica (specific gravity), $sgr.$, que es la relación que existe entre la densidad del fluido y la densidad del agua a $4^{\circ}C$, siendo adimensional.

La densidad de los líquidos depende de la temperatura y es prácticamente independiente de la presión, en cambio, en los gases, varía con la temperatura y la presión actuante de acuerdo con las llama-

das leyes de los gases. En ambos casos, el peso específico depende además de la aceleración de la gravedad local.

Viscosidad.- La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia al flujo como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas.

Si se considera el movimiento de un fluido sobre una frontera sólida fija, donde las partículas se mueven en líneas rectas paralelas, se puede suponer que el flujo se produce en forma de capas o láminas de espesor diferencial cuyas velocidades varían con la distancia n , normal a la pared.

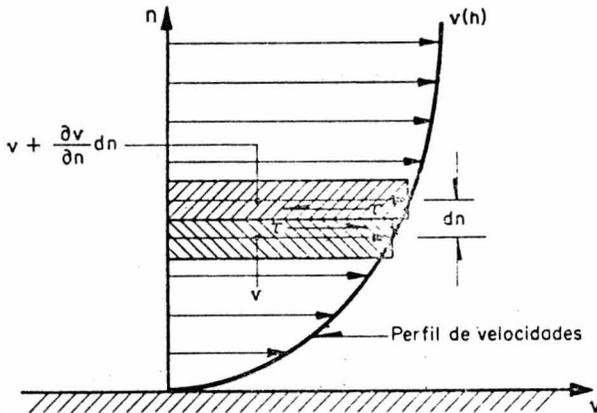


Figura 1

Según Newton, el esfuerzo tangencial que se produce al ocurrir el desplazamiento de dos láminas separadas una distancia dn , y cuyas velocidades son v y $v + \frac{\partial v}{\partial n} dn$, es igual a:

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial n}$$

De acuerdo con esta ley, el esfuerzo tangencial es proporcional al gradiente transversal de velocidades $\frac{\partial v}{\partial n}$. La constante de proporcionalidad μ es una magnitud característica de la viscosidad del fluido y se conoce como viscosidad absoluta o dinámica.

De acuerdo con el perfil de velocidades mostrado en la figura 1, es evidente que el esfuerzo cortante generado entre el fluido y la pared, es mayor que entre las capas de fluido adyacente. Los llamados newtonianos, se comportan conforme esta ley, en cambio, en los no newtonianos es distinto, quedando comprendidos diferentes tipos. Los casos extremos son el fluido no viscoso con viscosidad $\mu = 0$, y el sólido elástico con viscosidad $\mu = \infty$.

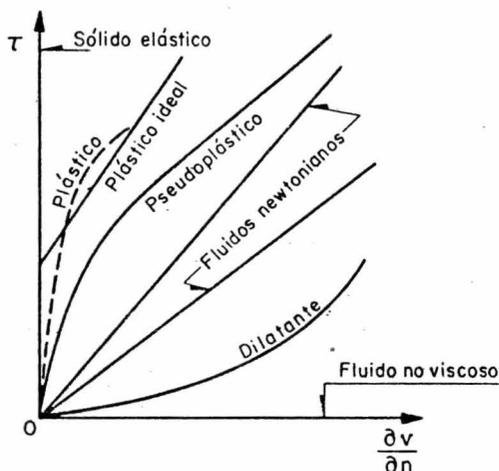


Figura 2

Las dimensiones de la viscosidad absoluta en el sistema absoluto son $[M L^{-1} T^{-1}]$, y en el gravitacional $[F L^{-2} T]$. Para el sistema absoluto C.G.S. la unidad de viscosidad absoluta es la conocida como poise que es:

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{gr}_m}{\text{cm} \cdot \text{seg.}} = 6.72 \times 10^{-2} \text{ lb}_m/\text{pie seg.}$$

Para el sistema gravitacional es más común la unidad $\text{kg seg}/\text{m}^2$, siendo:

$$1 \text{ kg seg}/\text{m}^2 = 98.1 \text{ gr}_m/\text{cm seg.}$$

La viscosidad absoluta es función, principalmente, de la temperatura y la presión. La dependencia respecto de la presión, es prácticamente despreciable para la mayoría de los gases, a menos que la presión resulte muy alta. En el caso de la temperatura, la viscosidad de los líquidos disminuye y la de los gases aumenta.

Estrechamente asociada a la viscosidad absoluta, tenemos la viscosidad cinemática, ν , que relaciona la viscosidad absoluta del fluido con su densidad:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

donde ν es la viscosidad cinemática.

La ventaja de usar esta nueva propiedad, es evidente, ya que sus dimensiones son $\left[L^2 T^{-1} \right]$, esto es, independientes de los conceptos de masa y fuerza. La unidad, en el sistema C.G.S, de la viscosidad cinemática es el stoke:

$$1 \text{ stoke} = 1 \text{ cm}^2 / \text{seg} = 0.0001 \text{ m}^2 / \text{seg}$$

De acuerdo con la ley de Newton, el esfuerzo tangencial en cualquier punto de un fluido, puede desaparecer si no existe la acción de viscosidad (fluido no viscoso). pero también si en cada punto, la ve-

locidad (y como consecuencia el gradiente de velocidades $\partial v/\partial n$) vale cero. Esto último ocurre cuando el flujo está en reposo.

Capacidad Calorífica.- La capacidad calorífica se define como la cantidad requerida de calor para incrementar la temperatura de una sustancia un grado centígrado. Si la sustancia es calentada a presión constante, la capacidad calorífica será:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = C_p$$

y cuando el calentamiento se efectúa a volumen constante:

$$\left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_V = C_v$$

donde:

H = Entalpia

E = Energía Interna

C_p = Capacidad Calorífica a Presión Constante

C_v = Capacidad Calorífica a Volumen Constante

Las dimensiones de la capacidad calorífica. son: energía por unidad de masa por unidad de temperatura.

$$\left[L^2 / t^2 T \right]$$

Para gases perfectos tenemos que:

$$C_p - C_v = R$$

mientras que para líquidos y sólidos C_p y C_v son casi iguales.

Para muchos cálculos de flujo de fluidos el C_p , es usado aún cuando haya variaciones de presión en el fluido.

Para un cambio de temperatura a presión constante, tenemos que:

$$H_2 - H_1 = \left(\int_{T_1}^{T_2} C_p dT \right)_p$$

Cuando ambas presión y temperatura cambian, el cambio de entalpía es dado por:

$$dH = C_p dT + \left[- T \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{1}{\rho} \right) + \frac{1}{\rho} \right] dP$$

El último término de la ecuación anterior da el cambio de entalpía debido a cambios de presión.

Usualmente no es significativo este término, excepto cuando los cambios de presión son grandes.

DIFERENTES TIPOS DE FLUJO.- A velocidades bajas, los flúidos tienden a moverse sin mezclarse lateralmente, y las capas contiguas se deslizan unas sobre otras. No existen corrientes transversales ni torbellinos. Este tipo de régimen se llama flujo laminar. A velocidades superiores, aparece el régimen llamado turbulento, formándose torbellinos que dan lugar a mezcla lateral.

La existencia de estos tipos de flujo, se demostró por primera vez, en la clásica experiencia de Osborne Reynolds, dada a conocer en 1883.

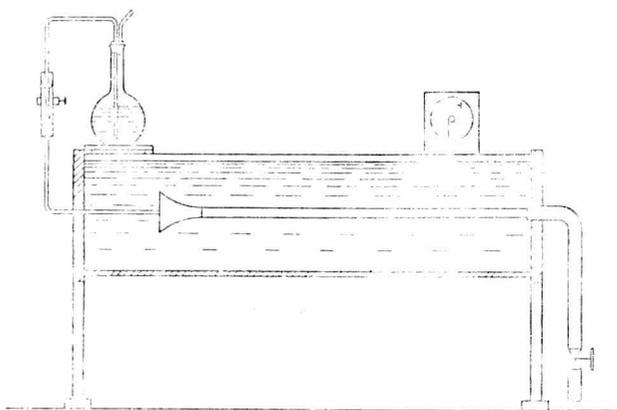


Figura 3

El aparato usado por Reynolds, se representa en la figura 3. En un tanque de vidrio lleno de agua, se sumerge un tubo horizontal

tal de vidrio. Mediante una válvula, se hace circular a través del tubo un flujo controlado de agua. La entrada del tubo está ensanchada y mediante un dispositivo adecuado, se introduce en la corriente de agua a la entrada, un filamento de agua coloreada procedente de un frasco situado en la parte superior. Reynolds, observó que para bajas velocidades de flujo, la corriente de agua coloreada circulaba intacta a lo largo de la corriente principal, sin que se produjese mezcla transversal. El comportamiento de la vena coloreada, demuestra claramente que el agua circula, siguiendo líneas rectas paralelas, siendo el flujo laminar. Al aumentar la velocidad de flujo, se alcanza una cierta velocidad crítica, para la cual desaparece la vena coloreada y el color se difunde uniformemente a través de toda la sección transversal de la corriente. Este hecho indica que el agua ya no circula con movimiento laminar, sino que se mueve al azar dando lugar a corrientes transversales y torbellinos. Este tipo de movimiento, se denomina flujo turbulento.

Reynolds, determinó las velocidades a la cual el flujo laminar cambia a turbulento y encontró que la velocidad crítica era proporcional a la viscosidad cinemática del agua e inversamente proporcional al diámetro del tubo. Combinando estos dos resultados, nos llevan a la siguiente ecuación :

$$V_{\text{crit.}} = \frac{C \nu}{D}$$

donde:

$V_{crit.}$ = Velocidad Crítica

ν = Viscosidad Cinemática

D = Diámetro interior del tubo

C = Constante de proporcionalidad

El valor de la constante C, se encuentra entre 1900 y 2000. Rearreglando la ecuación anterior:

$$\frac{D V_{crit.}}{\nu} = C$$

El término de la derecha es adimensional si son usadas unidades consistentes. Este grupo adimensional, es el criterio para determinar cuando el flujo laminar o turbulento es la forma estable bajo condiciones dadas. Reynolds, demostró que cuando $D V/\nu$ era menor que 1900, el flujo era laminar, pero cuando el valor llegaba a ser más grande que 2000, el flujo era turbulento.

Este grupo adimensional, es conocido como módulo de Reynolds o número de Reynolds y usualmente se representa como Re.

Intimamente ligado a este concepto, se encuentra el Teorema de Bernoulli que a continuación se detalla.

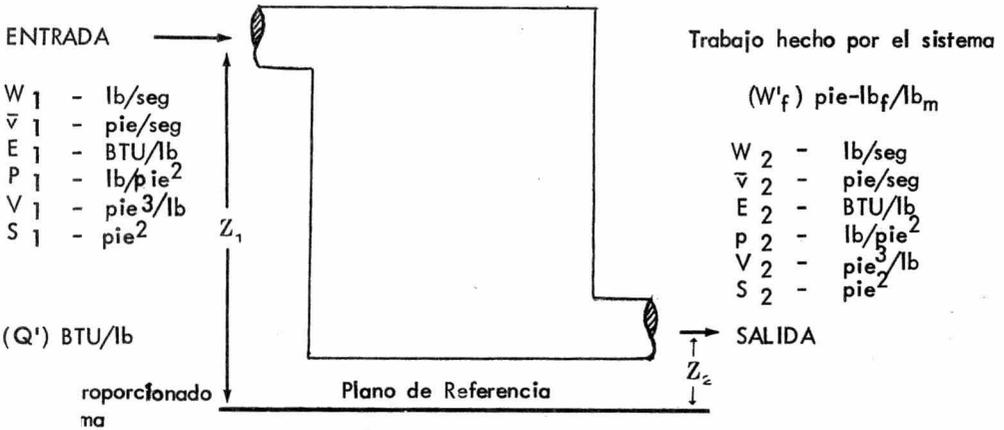


Figura 4

Consideremos el sistema mostrado en la figura anterior, este sistema puede ser cualquier cosa, desde un sistema completo de tubería hasta un tipo específico de equipo de proceso. Considerando la ley de la conservación de la masa:

$$\text{MASA DE ENTRADA} = \text{MASA DE SALIDA} + \text{MASA ACUMULADA} \quad \text{--- (1)}$$

el término de acumulación, puede ser positivo o negativo, según la situación física. Para operaciones en estado estacionario, la acumulación es cero. Bajo esta restricción especial, la ecuación (1), se transforma en:

$$W_1 = W_2 = \frac{\bar{v}_1 S_1}{V_1} = \frac{\bar{v}_2 S_2}{V_2} = G_1 S_1 = G_2 S_2 \quad \text{--- (2)}$$

en donde:

\bar{v} = Velocidad promedio (pie/seg)

S = Sección transversal (pie²)

V = Volumen específico (pie³/lb)

$G = \text{Masa velocidad (lb/seg-pie}^2\text{)}$

$W = \text{Flujo de masa (lb/hr)}$

a la ecuación (2) se le conoce con el nombre de ecuación de continuidad.

Aplicando la ley de la conservación de la energía al sistema propuesto, tenemos que, el balance de todas las energías incluidas en el sistema, puede escribirse como:

$$WE_1 + \frac{W\bar{v}_1^2}{2\alpha g_c} + Wz_1 \frac{g}{g_c} + WP_1 V_1 + WQ' = WE_2 + \frac{W\bar{v}_2^2}{2\alpha g_c} + Wz_2 \frac{g}{g_c} + WP_2 V_2 + WW'_f \quad \text{--- (3)}$$

La suma de los términos a la izquierda de la ecuación (3) representa la energía transferida al sistema y los términos a la derecha, significan la energía transferida del sistema o por el sistema hacia los alrededores.

La ecuación (3) está referida a un balance total de energía, puesto que se basa solamente en el concepto de conservación de la misma, su validez es rigurosa para estados a régimen permanente.

El balance total de energía puede también escribirse en

forma diferencial, el cual es frecuentemente conveniente cuando se manipulan matemáticamente los términos de la ecuación (3)

$$dE + d(PV) + d\left(\frac{g}{g_c} z\right) + \frac{\bar{v}d\bar{v}}{\alpha g_c} = \delta Q' - \delta W'_f \quad \text{--- (4)}$$

Los términos $\delta Q'$ y $\delta W'_f$, presentes en la ecuación (4) no son diferenciales exactas, su cálculo depende de la manera en la cual han sido agregados al sistema calor y trabajo.

La energía interna, es una propiedad termodinámica intrínseca del sistema y se obtiene solamente por diferencia, o bien estableciendo una base arbitraria a partir de la cual se pueda calcular E. En forma similar, el término PV es también una propiedad intrínseca del sistema, más aún, puesto que E y PV aparecen como sumas en ambos lados de la ecuación (3), es a veces conveniente combinar esta suma en una sola cantidad que sea también una propiedad intensiva del sistema. Así podemos definir la entalpia:

$$H = E + PV \quad \text{--- (5)}$$

sustituyendo en la ecuación (3)

$$H_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2\alpha g_c} + z_1 \frac{g}{g_c} + Q' = H_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2\alpha g_c} + z_2 \frac{g}{g_c} + W'_f \quad \text{--- (6)}$$

Ahora bien, considerando un sistema de flujo en el cual un fluido no está sujeto a esfuerzos cortantes y fluye bajo condiciones isotérmicas, solamente son significativas las formas de energía mecánica, y para este caso el balance de energía se transforma en:

$$P_1 V_1 + z_1 \frac{g}{g_c} + \frac{\bar{v}_1^2}{2\alpha g_c} = P_2 V_2 + z_2 \frac{g}{g_c} + \frac{\bar{v}_2^2}{2\alpha g_c} \quad \text{--- (7)}$$

Esta ecuación es la que representa el llamado teorema de Bernoulli, y su significado es que en ausencia de energía no mecánica, la suma de la energía cinética, permanece constante para un fluido perfecto. Desgraciadamente la ecuación (7) tiene solamente interés teórico ya que no existe un fluido perfecto, y la suma de las tres energías previamente mencionadas que aparecen en el punto 2, es siempre menor que la suma de los mismos términos correspondientes a las energías que entran en el punto 1, y es debido a las fuerzas de fricción.

La ecuación (3) ha sido desarrollada, considerando solamente las energías que entran y que salen del sistema como se imagina en la figura 4. Enfocando la atención sobre el fluido dentro de las fronteras del sistema, aparecen otros problemas. Como resultado del flujo, la fricción del fluido tiene lugar en cualquier parte en donde exista una tensión sobre el fluido. Esta fricción, convertirá efectivamente la energía mecánica en calor, así que todo el trabajo realizado por el fluido no se

transferirá a los alrededores. La pérdida de energía, aparecerá en el fluido como calor, así que :

$$Q = Q' + \sum F \text{ --- (8)}$$

y

$$W'_f = W - \sum F \text{ --- (9)}$$

en donde:

Q = Calor absorbido por el sistema.

Q' = Calor transferido al sistema.

W = Trabajo hecho por el sistema .

W'_f = Trabajo transferido al medio.

$\sum F$ = Pérdidas por fricción.

Sustituyendo la ecuación (8), en la ecuación (3),

y expresando el resultado como una ecuación de diferencias, tenemos:

$$\Delta E + \Delta \left(\frac{\bar{v}^2}{2 \alpha g_c} \right) + \Delta z \frac{g}{g_c} + \Delta(PV) = Q - \sum F - W'_f \text{ --- (10)}$$

Por la primera ley de Termodinámica:

$$\Delta E = Q - W = Q - \int_{V_1}^{V_2} PdV \text{ --- (11)}$$

Sustituyendo la ecuación (11) en la ecuación (10), nos queda:

$$\Delta \left(\frac{\bar{v}^2}{2\alpha g_c} \right) + \Delta z \frac{g}{g_c} + \Delta(PV) - \int_{V_1}^{V_2} P dV + \sum F = - W'_f \quad \text{--- (12)}$$

Pero:

$$\Delta(PV) = \int_{V_1}^{V_2} P dV + \int_{P_1}^{P_2} V dP \quad \text{--- (13)}$$

Por lo tanto, sustituyendo la ecuación (13) en la ecuación (12), tenemos:

$$\Delta \left(\frac{\bar{v}^2}{2\alpha g_c} \right) + \Delta z \frac{g}{g_c} + \int_{P_1}^{P_2} V dP + \sum F = - W'_f \quad \text{--- (14)}$$

Desarrollando la ecuación (14) para el caso particular de los flúidos incompresibles y considerando que $V = 1/\rho$, tenemos:

$$\Delta \left(\frac{\bar{v}^2}{2\alpha g_c} \right) + \Delta z \frac{g}{g_c} + \Delta \left(\frac{P}{\rho} \right) + \sum F = -W'_f \quad \text{--- (15)}$$

Las ecuaciones 3, 6, 10, 12, 14, y 15, pueden utilizarse para resolver un problema de flujo. La selección depende únicamente de los resultados que se desee encontrar y de la información que se tenga a la mano.

Aunque cualquiera de los términos para la energía, puede ser calculado a partir de balances de energía, es a menudo deseable determinar las necesidades de potencia para mover un fluido a una velocidad específica a través de un sistema de tubería. La potencia es la razón de cambio o derivada del trabajo dado con respecto al tiempo.

$$\text{Potencia} = (W'f) (w) \text{ --- (16)}$$

en donde:

$$w = \bar{v} \rho A_1 \text{ --- (17)}$$

en donde :

w = Gasto en masa.

\bar{v} = Velocidad promedio del fluido .

ρ = Densidad del fluido.

A_1 = Area transversal del flujo.

El caballo de fuerza, puede calcularse aplicando simplemente el factor de conversión adecuado a la ecuación (16).

Cálculo de las Pérdidas por Fricción.- En 1850, D'arcy, Weisbach y otros dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular las pérdidas por fricción en una tubería, que es:

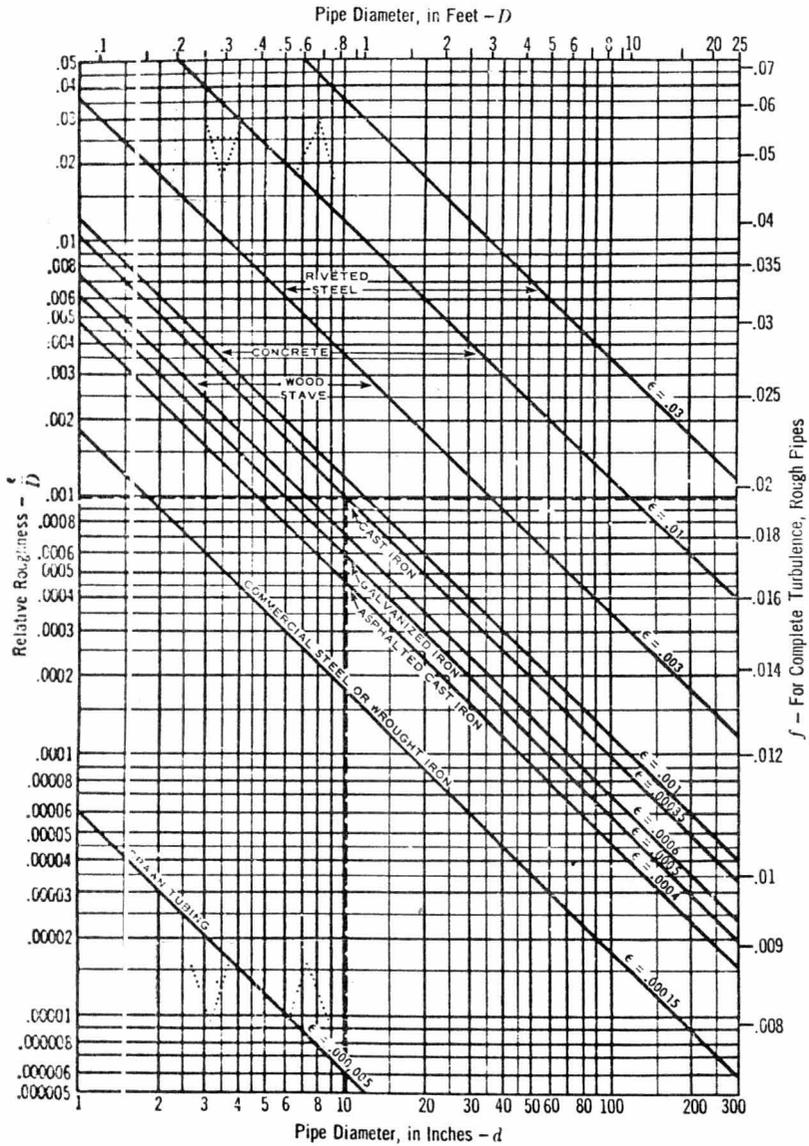
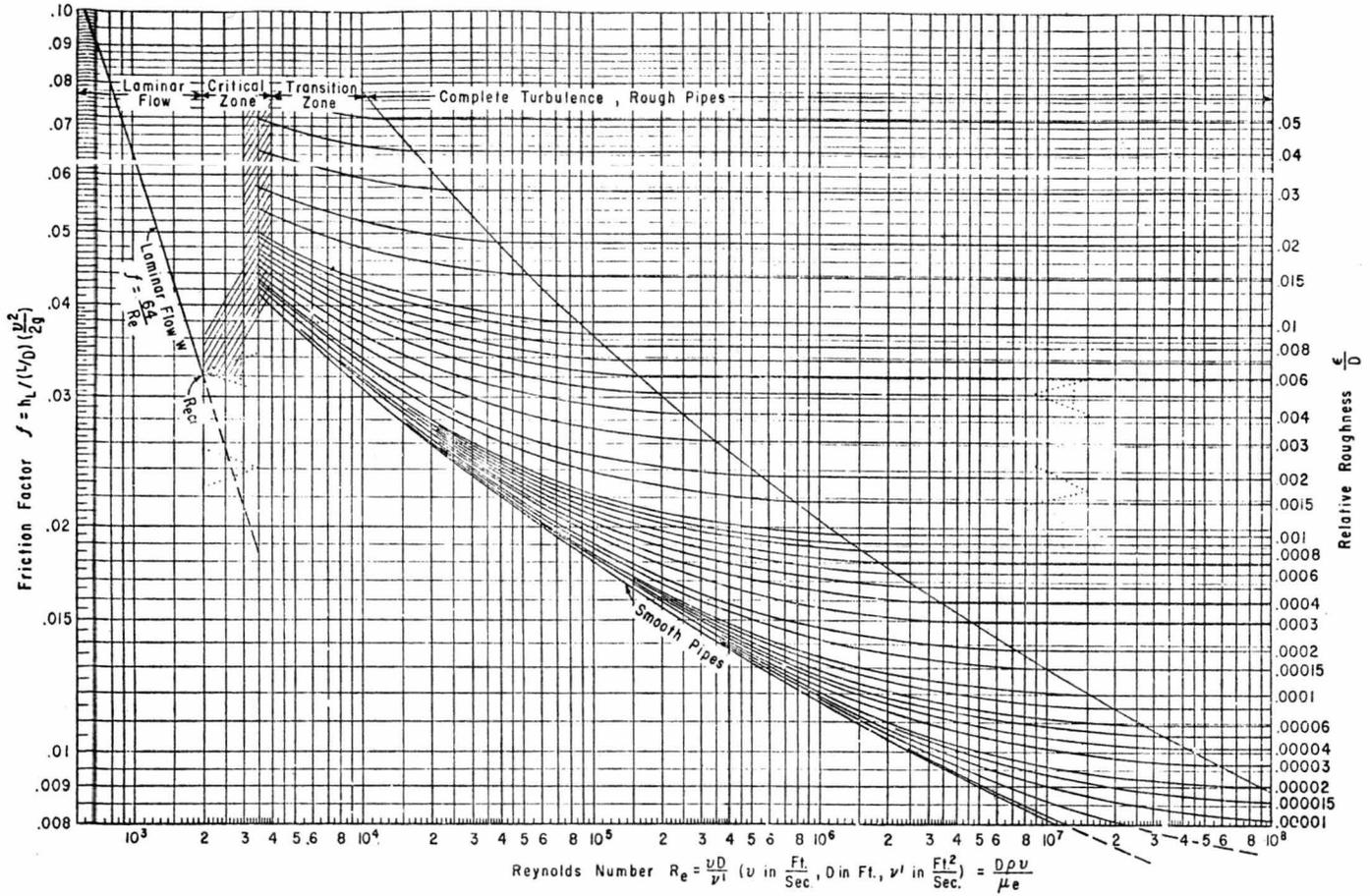


FIGURA 5

Figura 6



$$F = f' \frac{L \bar{v}^2}{2g_c D}$$

donde

f' = factor de fricción.

g_c = aceleración de la gravedad.

D = diámetro .

L = longitud.

\bar{v} = velocidad media.

El factor de fricción f' , es una función de la rugosidad relativa y del número de Reynolds, esto es:

$$f' = f (\epsilon/D, Re)$$

La representación gráfica de estas ecuaciones, se encuentran en las figuras 5 y 6.

B A S E S D E L E S T U D I O

En el Valle de México, se encuentran localizadas en forma especial por su cercanía, las plantas de almacenamiento y distribución de Cuernavaca y Cuautla, Mor. Estas Agencias se abastecen por medio de auto-tinques provenientes de la Refinería de Atzacapotzalco, creando una serie de gastos, debido al costo de este medio de transporte.

Con el fin de obtener un mejor abastecimiento y una reducción en el costo de transporte se ha hecho este estudio para determinar la posibilidad de suministrar destilados a la zona antes mencionada por medio de oleoducto.

Las plantas de almacenamiento que nos ocupan en este estudio fueron construidas y proyectadas en su capacidad de almacenamiento para satisfacer las demandas en su área de influencia durante 20 días y hasta 10 años.

Las instalaciones para el almacenamiento de las diferentes plantas se detallan a continuación:

RELACION DE INSTALACIONES PARA ALMACENAMIENTO
DE DESTILADOS EN LA TERMINAL DE
CUERNAVACA, MOR.
EN 1974.

Producto	No. de Tanques	Capacidad Its.	Total bls.
Supermexolina	2	2.385,000	15,000
Gasolmex	1	795,000	5,000
Pemex-100	1	795,000	5,000
Diáfano	1	795,000	5,000
Tractogas	1	795,000	5,000
Diesel	2	2.385,000	15,000
TOTAL :	8	7.950,000	50,000

RELACION DE INSTALACIONES PARA ALMACENAMIENTO
DE DESTILADOS EN LA TERMINAL DE
CUAUTLA , MOR.
EN 1974.

P r o d u c t o	No. de Tanques	Capacidad Total	
		lts.	lbs.
Supermexolina	2	795,000	5,000
Gasolmex	1	238,500	1,500
Pemex-100	1	159,000	1,000
Diáfano	2	795,000	5,000
Tractogas	1	159,000	1,000
Diesel	2	795,000	5,000
T O T A L :	9	2.941,500	18,500

Los consumos de productos en las agencias involucradas en este estudio, durante los años de 1972 y 1973, fueron los siguientes:

CONSUMOS DE PRODUCTOS DURANTE EL AÑO DE 1972

(lts.)

Producto	Cuernavaca	Cuautla
Supermexolina	38,924,810	15.891,822
Gasolmex	33.383,441	7.161,884
Pemex-100	5.610,795	1.008,765
Diesel	26.183,772	12.971,159
Kerosinas	14.306,790	12.226,632

NOTA: El término kerosina, incluye diáfano y tractogas.

CONSUMOS DE PRODUCTOS DURANTE EL AÑO DE 1973.

(Its.)

Producto	Cuernavaca	Cuautila
Supermexolina	42.281,153	16.625,700
Gasolmex	39.332,030	9.511,660
Pemex - 100	6.218.060	1.216,780
Diesel	26.818,878	13.739,463
Kerosinas	13.643,421	12.538,635

Los costos de flete entre México y las Agencias estudiadas, son:

	<u>\$/lt.</u>	<u>\$/bl.</u>
México - Cuernavaca	0.027	4.293
México - Cuautla	0.03	4.77
Cuernavaca - Cuautla	0.022	3.56

De acuerdo a los costos anteriormente mencionados, la cantidad que se pagó por concepto de fletes durante los años de 1972 y 1973, fue la siguiente:

FLETES PAGADOS EN 1972 (\$)

<u>P r o d u c t o</u>	<u>Cuernavaca</u>	<u>C u a u t l a</u>
Supermexolina	1.050,969.75	476,754.92
Gasolmex	901,352.70	214,856.06
Pemex - 100	151,491.38	30,259.92
Diesel	706,961.80	389,134.69
Kerosinas	386,283.28	366,798.69
T O T A L :	3.197,058.91	1.477,803.70

FLETES PAGADOS EN 1973 (\$)

Producto	Cuernavaca	Cuautila
Supermexolina	1.141,591.13	498,770.75
Gasolmex	1.061,964.56	285,349.50
Pemex - 100	167,887.21	36,503.37
Diesel	724,109.33	412,183.80
Kerosinas	368,372.03	376,158.86
TOTAL :	3.463,924.26	1.608,966.28

A continuación se presentan los pronósticos de consumo a largo plazo para los diferentes productos en cada una de las ciudades las cuales se incluyen en este estudio. Las cantidades están dadas en barriles por día y hasta el año de 1984.

PRONOSTICOS DE CONSUMO PARA GASOLINAS TOTALES

A ñ o	Cuernavaca	Cuautla
1974	1630	494
1975	1782	533
1976	1944	574
1977	2116	618
1978	2298	664
1979	2491	713
1980	2694	765
1981	2907	819
1982	3129	876
1983	3358	937
1984	3597	1003

PRONOSTICOS DE CONSUMO PARA COMBUSTIBLE DIESEL

A ñ o	Cuernavaca	Cuatla
1974	583	252
1975	633	271
1976	685	290
1977	742	311
1978	802	333
1979	864	355
1980	930	378
1981	999	403
1982	1073	430
1983	1150	460
1984	1231	492

PRONOSTICOS DE CONSUMO PARA KEROSINAS TOTALES

A ñ o	Cuernavaca	Cuatla
1974	240	219
1975	240	220
1976	240	221
1977	240	222
1978	240	222
1979	240	223
1980	240	224
1981	240	225
1982	240	225
1983	240	226
1984	240	228

En base a estos pronósticos de consumo, podemos calcular las cantidades que se pagarían por concepto de fletes hasta 1984, de México a las siguientes Agencias.

FLETES QUE SE PAGARIAN HASTA EL AÑO
DE 1984.
(\$)

A ñ o	Cuernavaca	Cuatla
1974	3.296,118.17	1.440,754.65
1975	3.567,547.40	1.528,842.24
1976	3.856,444.83	1.619,915.85
1977	4.162,810.48	1.718,454.51
1978	4.487,988.06	1.819,979.19
1979	4.830,633.86	1.927,475.91
1980	5.192,091.58	2.040,944.67
1981	5.571,917.51	2.160,385.47
1982	5.968,755.38	2.285,798.31
1983	6.379,930.33	2.423,155.23
1984	6.809,917.21	2.572,456.23
SUBTOTAL :	54.123,254.81	21,538,162.36
T O T A L :	75.661,417.17	

FLETES QUE SE PAGARIAN HASTA EL AÑO DE 1984

CUERNAVACA - CUAUTLA

A Ñ O	(\$)
1974	1.075.280.20
1975	1.141,022.72
1976	1.208,993.80
1977	1.282,536.28
1978	1.358,307.32
1979	1.438,535.48
1980	1.532,220.76
1981	1.612,363.16
1982	1.705,962.68
1983	1.808,476.44
1984	1.919,904.44
T O T A L :	<hr/> 16.074,603.28

El costo unitario por concepto de transporte, sería:

$$\text{Costo por barril transportado} = \frac{\text{Costo Total / año}}{\text{Barriles / día} \times 300}$$

$$= \$ 7.99/\text{Bl.}$$

ALTERNATIVAS ESTUDIADAS

En el suministro de destilados a las Agencias de Cuernavaca y Cautla, Mor., se presentan las siguientes alternativas.

ALTERNATIVA No. 1.- Se considera la posibilidad de abastecer por medio de oleoducto las Agencias antes mencionadas, lo que significa tender una tubería de 134 km.

ALTERNATIVA No. 2.- En esta alternativa, se considera la posibilidad económica de abastecer únicamente la Agencia de Cuernavaca por medio de oleoducto y a partir de ésta, surtir la Agencia de Cautla por medio de auto-tanque.

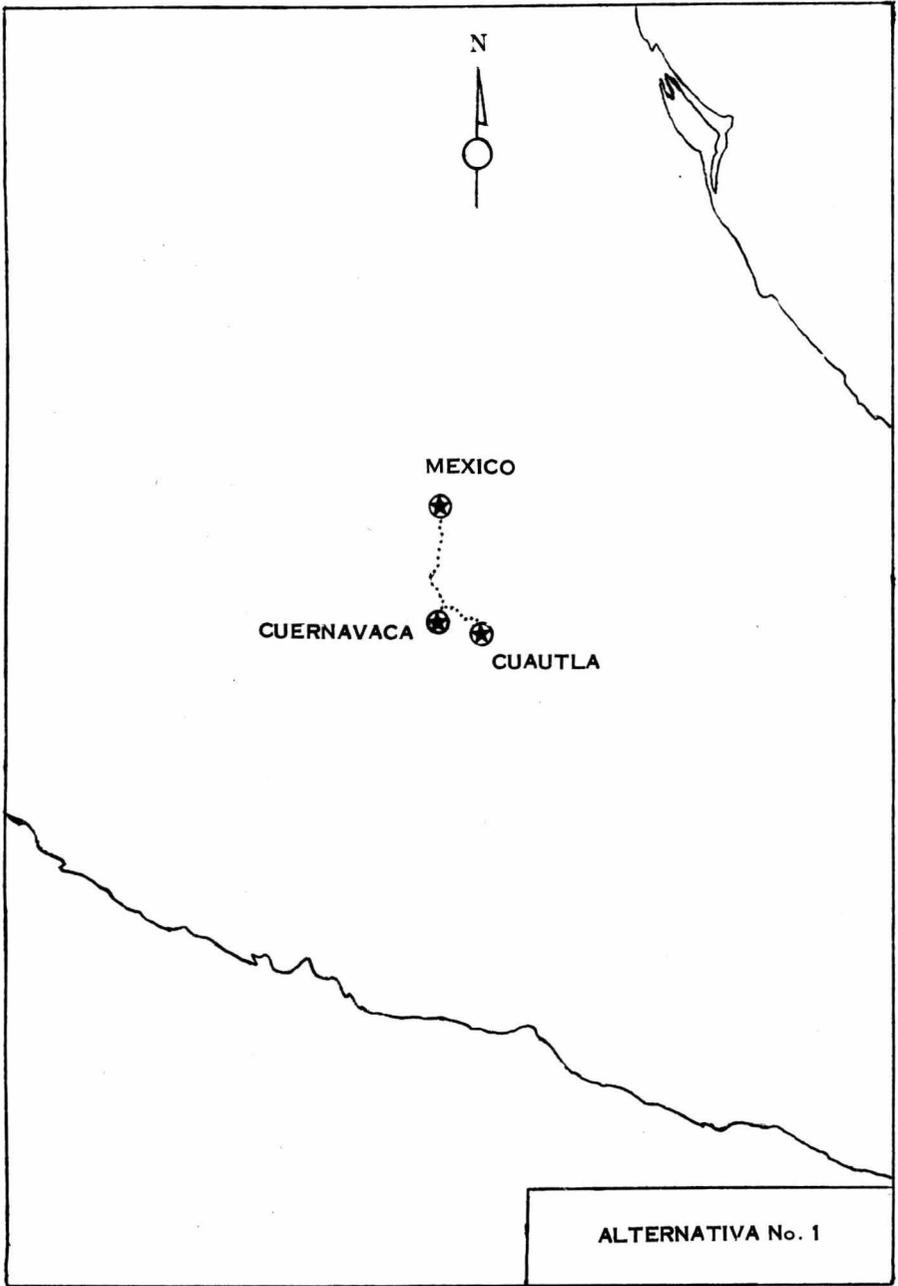


FIGURA 7

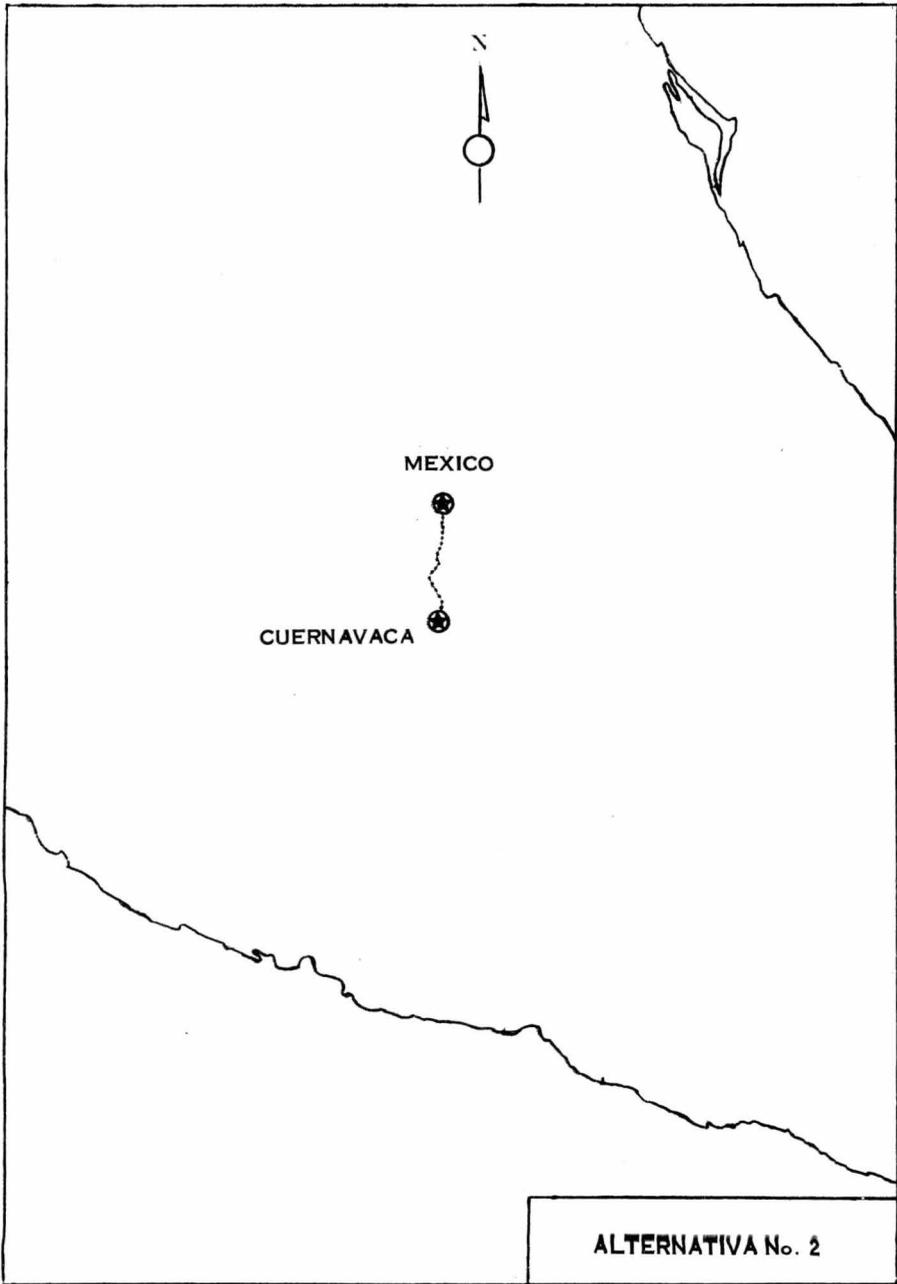


FIGURA 8

C A L C U L O S

Para fines de cálculo, tanto de las líneas como del equipo necesario, las cantidades de producto a transportar, serán consideradas iguales a la demanda que habrá en el año de 1984, con el fin de que no requiera ninguna ampliación en las instalaciones hasta dicha fecha.

La altura sobre el nivel del mar de cada una de las ciudades donde se encuentran localizadas las Agencias, son:

Ciudad	Altura sobre el nivel del mar (metros)
México, D. F.	2240
Cuernavaca	1542
Cuatla	1350

Todos los cálculos, estarán basados en las propiedades físicas del combustible Diesel, ya que éste es el que presenta mayor resistencia para ser transportado, esto es, mayor viscosidad. La temperatura de bombeo será tomada como de 20° C, ya que es la temperatura promedio a la cual se encuentran estas Ciudades, a la cual las propiedades físicas del combustible Diesel son las siguientes:

Gravedad Específica = 0.87

Viscosidad Absoluta = 2.0 cps.

La ecuación que se usará en los cálculos, será:

$$W = \Delta Z \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta \bar{v}^2}{2} \frac{\rho}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F$$

Misma que representa al Teorema de Bernoulli anteriormente citado.

ALTERNATIVA No.1.- Debido a que nuestro gasto disminuirá al abastecer primero la Agencia de Cuernavaca y después la Agencia de Cuautla, dividiremos nuestro ducto en dos tramos para facilidad de cálculo:

A).- Tramo México - Cuernavaca.

B).- Tramo Cuernavaca - Cuautla.

A-1).- Cálculo del Tramo México - Cuernavaca.

La demanda de productos en 1984, será (barriles/día) :

Producto	Cuernavaca	Cuautla
Gasolinas Totales	3597	1003
Diesel	1231	492
Kerosinas	240	228
T O T A L :	5068	1723

Suponiendo una tubería de 4 pulgadas de diámetro, cédula 40, acero comercial y operando el sistema durante 3 turnos de 8 horas c/u (24 horas).

DATOS:

$$D = 4 \text{ pulg.}$$

$$D_i = 4.026 \text{ pulg.} = 0.335 \text{ pie.}$$

$$A_i = 0.088 \text{ pie}^2.$$

$$e = 54.2 \text{ lb/pie}^3.$$

$$\mu = 2 \text{ cps.} = 13.44 \times 10^{-4} \text{ lb/pie-seg.}$$

$$Z_1 = 2240 \text{ mts.} = 7347.2 \text{ pies.}$$

$$Z_2 = 1542 \text{ mts.} = 5057.8 \text{ pies.}$$

$$Z_{\text{int.}} = 3000 \text{ mts.} = 9840 \text{ pies.}$$

$$L = 86 \text{ km.} = 282,080 \text{ pies.}$$

$$g_c = 32.2 \text{ pie/seg}^2.$$

$$Q = 6791 \text{ Bls/día} = 0.44 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

Como para cada tramo, el diámetro será constante y el transporte será de tanque a tanque, ambos abiertos a la atmósfera, la ecuación del balance de energía se reduce a:

$$W = \Delta Z \text{ g/gc} + \sum F$$

Cálculo de velocidad:

$$V = Q/A_i = \frac{0.44 \text{ pie}^3/\text{seg.}}{0.088 \text{ pie}^2} = 4.97 \text{ pie/seg.}$$

Cálculo del No. de Reynolds:

$$Re = DV\rho/\mu = \frac{0.335 \text{ pie} \times 4.97 \text{ pie/seg} \times 54.2 \text{ lb/pie}}{13.44 \times 10^{-4} \text{ lb/pie-seg.}}$$

$$Re = 6.74 \times 10^4.$$

De la gráfica para el cálculo de la rugosidad relativa, con el diámetro nominal de 4 pulg. y el parámetro para acero comercial, se obtiene:

$$E/D = 0.00045$$

Con este valor y el del número de Reynolds, consultamos la gráfica correspondiente al factor de fricción de la cual se obtiene:

$$f' = 0.0215$$

Cálculo de la Pérdida por Fricción:

$$\sum F = \frac{f' LV^2}{2gcD} = \frac{0.0215 \times 282080 \text{ pies} \times (4.97 \text{ pie/seg})^2}{2 \times 32.2 \text{ pie/seg}^2 \times 0.335 \text{ pie}}$$

$$\sum F = 6882.16 \text{ pies.}$$

nemos:

Sustituyendo en la ecuación del balance de energía, te-

$$W = (9840 - 7347.2) \text{ pies} + \sum F = 2492.8 + 6882.16 \text{ pies}$$

$$W = 9374.96 \text{ pies.}$$

Cálculo de la Potencia Requerida:

Donde:
$$Pr = \frac{W w}{550n}$$

$$w = \text{Gasto en Masa} = Q$$

$$w = 0.44 \text{ pie}^3/\text{seg.} \times 54.2 \text{ lb}/\text{pie}^3$$

$$w = 23.85 \text{ lb}/\text{seg.}$$

$$n = \text{eficiencia de la bomba} = 0.75$$

$$Pr = \frac{9374.96 \text{ pies} \times 23.85 \text{ lb}/\text{seg.}}{550 (\text{lb-pie}/\text{seg})/\text{HP} \times 0.75}$$

El costo de la energía eléctrica es de 0.50 \$/kw-hr, por lo que tomando en cuenta que se trabajará durante las 24 horas del día, los costos de operación en los 10 años, ascenderán a:

$$Co = 542 \text{ HP} \times 0.746 \text{ Kw}/\text{HP} \times 0.50 \text{ $}/\text{Kw-hr} \times 24 \text{ hrs}/\text{d}^{\text{a}} \times 3130 \text{ días}$$

$$Co = \$15,172,557.31$$

El costo unitario de la tubería de 4 pulg. incluyendo accesorios e instalaciones es de 116.48 \$/mt. por lo que el costo de la línea ascendería a:

$$C_1 = 86000 \text{ mts.} \times 116.48 \text{ \$/mt} = \$10,017,280$$

El costo total de la línea, sería:

$$C_t = C_o + C_1 \quad \$ 15,172,557.31 + \$10,017,280$$

$$C_t = \$25,189,837.31$$

B-1).- Cálculo del Tramo Cuernavaca - Cuautla.

Suponiendo una tubería de 4 pulgadas de diámetro, cédula 40, acero comercial y operando el sistema durante tres turnos de ocho horas c/u (24 horas).

DATOS:

$$D = 4 \text{ pulg.}$$

$$D_i = 4.026 \text{ pulg.} = 0.335 \text{ pie.}$$

$$A_i = 0.088 \text{ pie}^2.$$

$$e = 54.2 \text{ lb/pie}^3.$$

$$\mu = 2 \text{ cps.} = 13.44 \times 10^{-4} \text{ lb/pie-seg.}$$

$$Z_1 = 1542 \text{ mts.} = 5057.8 \text{ pies.}$$

$$Z_2 = 1350 \text{ mts.} = 4428 \text{ pies.}$$

$$L = 48 \text{ Km.} = 157,440 \text{ pies.}$$

$$g_c = 32.2 \text{ pie/seg}^2.$$

$$Q = 1723 \text{ Bls/día} = 0.0926 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

Cálculo de la velocidad:

$$V = Q/A_i = \frac{0.0926 \text{ pie}^3/\text{seg}}{0.088 \text{ pie}^2} = 1.05 \text{ pie/seg.}$$

Cálculo del No. de Reynolds:

$$Re = DV_e/\mu = \frac{0.334 \text{ pie} \times 1.05 \text{ pie/seg} \times 54.2 \text{ lb/pie}^3}{13.44 \times 10^{-4} \text{ lb/pie-seg}}$$

De la gráfica para el cálculo de la rugosidad relativa, con el diámetro nominal de 4 pulg. y el parámetro para acero comercial se obtiene:

$$E/D = 0.00045$$

Con este valor y el del número de Reynolds, consultamos la gráfica correspondiente al factor de fricción de la cual se obtiene:

$$f' = 0.029$$

Cálculo de las Pérdidas por fricción:

$$\sum F = \frac{f' LV^2}{2gcD} = \frac{0.029 \times 157440 \text{ pies} \times (1.05 \text{ pie/seg})^2}{2 \times 32.2 \text{ pie/seg}^2 \times 0.334 \text{ pie}}$$

$$\sum F = 231.2 \text{ pies}$$

Sustituyendo en la ecuación del balance de energía, tenemos:

$$W = (4428 - 5057.8) \text{ pies} + \sum F = -629.8 + 231.2 \text{ pies}$$

$$W = -398.6 \text{ pies}$$

El valor negativo de W , nos indica que no es necesario efectuar ningún trabajo en el sistema, por lo que no se requerirá instalar bombeo en este tramo.

El costo unitario de la tubería de 4 pulg. incluyendo accesorios e instalaciones, es de 116.48 \$/mt., por lo que el costo de la línea, que en este caso será el total, ascenderá a:

$$C_t = C_1 = 48000 \text{ mts.} \times 116.48 \text{ $/mt.}$$

$$C_t = \$5.591,040 \text{ 00}$$

Para los oleoductos anteriores, se efectuaron cálculos con varios diámetros de línea y operando tres turnos al día. Para facilidad de presentación de resultados y para una observación más objetiva de los mismos, éstos se presentarán en el siguiente capítulo.

ALTERNATIVA No. 2.- Esta alternativa comprendería únicamente el oleoducto México - Cuernavaca. por lo que el cálculo de éste sería el mismo que se hizo en la Alternativa No. 1, correspondiente al tramo anteriormente citado.

Por lo tanto, se usaría un tubo de 4 pulg. de diámetro, cédula 40, acero comercial y operando el sistema durante 24 horas del día.

El costo total de dicha tubería ascendería a:

$$C_t = \$25,189,837.31$$

RESULTADO DEL CALCULO Y ANALISIS TECNICO

ALTERNATIVA No. 1

TRAMO MEXICO - CUERNAVACA

DIAMETRO (pulg.)	CAIDA DE PRESION (pies)	POTENCIA REQUERIDA (HP)	COSTO DE OPERACION (\$M.M.)	COSTO DE LA LINEA (\$M.M.)	COSTO TOTAL (\$M.M.)
4	9375	542	7.259	10.017	17.276
6	3362	194	2.613	14.333	16.947
8	2735	158	2.117	18.571	20.689
10	2570	148	1.990	22.722	24.713

TRAMO CUERNAVACA - CUAUTLA

DIAMETRO (pulg.)	CAIDA DE PRESION (pies)	POTENCIA REQUERIDA (HP)	COSTO DE OPERACION (\$M.M.)	COSTO DE LA LINEA (\$M.M.)	COSTO TOTAL (\$M.M.)
4	-	-	-	5.591	5.591
6	-	-	-	8.000	8.000
8	-	-	-	10.365	10.365
10	-	-	-	12.682	12.682

ALTERNATIVA No. 2

TRAMO MEXICO - CUERNAVACA

DIAMETRO (pulg)	CAIDA DE PRESION (pies)	POTENCIA REQUERIDA (HP)	COSTO DE OPERACION (\$M.M.)	COSTO DE LA LINEA (\$M.M.)	COSTO TOTAL (\$M.M.)
4	9375	542	7.259	10.017	17.276
6	3362	194	2.613	14.333	16.947
8	2735	158	2.117	18.571	20.689
10	2570	148	1.990	22.272	24.713

Por observación de los cuadros de resultados obtenidos del capítulo anterior, y basándose en que el diámetro de la tubería a utilizarse será aquel en el que los cálculos hayan arrojado un costo total menor, podemos obtener la manera más económica de abastecimiento en cada una de las alternativas, las cuales serán:

ALTERNATIVA No. 1

Requerirá la construcción de dos líneas de productos: el oleoducto México - Cuernavaca y el oleoducto Cuernavaca - Cautla.

El oleoducto México - Cuernavaca, estaría constituido por un tramo de 86 km. de longitud con un diámetro de 6 pulg. y un espesor de 0.250 pulg. y especificación A.S.A. B 36.10. Se bombearía de México sin necesidad de rebombeo entre este punto y Cuernavaca.

La estación de bombeo en México, estaría constituida por dos bombas centrífugas accionadas por un motor eléctrico de 200 H.P., para cada una, una de las cuales sería de relevo.

El oleoducto Cuernavaca - Cautla, constaría de una tubería de 4 pulg. de diámetro con una longitud de 48 km, un espesor de 0.237 pulg. y especificación A.S.A. B 36.10. Este oleoducto, no requerirá de sistema de bombeo como se aprecia en el cuadro anterior.

ALTERNATIVA No. 2

Requerirá la construcción de una sola línea de productos, el oleoducto México - Cuernavaca, ya que de esta Agencia, se abastece-
rá la Agencia de Cuautla.

Este oleoducto, estaría constituido por un tramo de 86 km. de longitud, con un diámetro de 6 pulg. y un espesor de 0.250 pulg. y especificación A.S.A. B 36.10. Se bombearía de Mexico sin necesidad de rebombeo entre este punto y Cuernavaca.

La estación de bombeo en México, estaría constituida por dos bombas centrífugas accionadas por un motor eléctrico de 200 H.P. cada una, una de las cuales sería de relevo.

EVALUACION ECONOMICA

Para que finalmente se pueda decidir cuál de las alternativas estudiadas, resulta más económica, en este capítulo, se hará una evaluación económica para cada una de ellas.

Primeramente se determinarán los costos totales para cada alternativa, posteriormente, se determinará el costo total anual y por último, el costo unitario. Con este último, haremos una comparación de las alternativas y seleccionaremos así la más económica.

Para ésto, tomaremos como base los barriles promedio que se transportarán al año, que son:

6791 Bls/día.

La expresión que usaremos para determinar la anualidad, será:

$$A = L \left[\frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

donde:

A = Anualidad.

- 60 -

L = Inversión Total.

i = Interés (13%).

n = Vcda útil del oleoducto.

El costo unitario total será:

$$\text{Costo por barril transportado} = \frac{\text{Costo Total / año}}{\text{Barriles / día} \times 300}$$

ALTERNATIVA No. 1

La inversión total a realizar en esta alternativa, será :

A-1) Oleoducto México - Cuernavaca

<u>Concepto.</u>	<u>Importe</u>
86 km. de tubería de 6" de ϕ	\$ 14,333,000.00
Mano de Obra	4,341,452.00
Materiales Anticorrosivos	918,480.00
Fletes de Tubería, materiales anticorrosivos y piezas especiales ..	447,200.00
Protección catódica e Insp. radiográfica	222,740.00
Válvulas, conexiones e instrumentos	186,964.00
Trampas de diablos	293,002.00
Estación de medición de Cuernavaca	500,000.00
Estación de extracción hacia Cuautla	1.000,000.00
Estación de bombas en México, provista de 2 motobombas de 200 HP. c/u (incluyendo mano de obra, conexiones e instrumentos	1.200,000.00
Ingeniería	688,000.00
Imprevistos y Administración (15%)	1.444,800.00
 Inversión total en el Oleoducto	 \$ 25.575,638.00

A-2) Oleoducto Cuernavaca - Cuautla

Concepto.

48 Km. de tubería de 4" de Ø	\$ 5.591,000.00
Mano de Obra	1.714,752.00
Materiales anticorrosivos	377,760.00
Fletes de tubería, materiales anticorrosivos y piezas especiales	168,000.00
Protección catódica e inspección radiográfica	74,400.00
Válvulas, conexiones e instrumentos	94,416.00
Trampas de diablos	141,888.00
Estación de medición en Cuautla	500,000.00
Ingeniería	384,000.00
Imprevistos y Administración (15%).....	806,400.00
	<hr/>
Inversión total en el Oleoducto	9.852.616.00

Cálculo de la anualidad, suponiendo un interés del 13% anual y una vida útil del oleoducto de 10 años.

$$A = L \left[\frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

$$A = 35,428,254 \left[\frac{0.13 (1 + 0.13)^{10}}{(1 + 0.13)^{10} - 1} \right]$$

$$A = \$ 6,525,884.39$$

Costos Anuales:

Anualidades	\$ 6.525,834.39
Energía Eléctrica	1.357,688.83
Refacciones, Materiales y Lubricantes	300,000.00
Personal de operación por turno (3 encargados, 3 ayudantes y 3 obreros generales)	225,000.00
Otros	50,000.00
	<hr/>
Costos Anuales Totales	\$ 8.458,573.22

El costo unitario por concepto de transporte en esta alter-
nativa, será:

$$\frac{\text{C. A. T.}}{\text{Bls/ año}} = \$ 3.97/\text{Bl.}$$

ALTERNATIVA No. 2

La inversión total a realizar en esta alternativa será:

B-1).- OLEODUCTO MEXICO - CUERNAVACA

Concepto.

86 Km. de tubería de 6" de Ø.	\$ 14,333,000.00
Mano de Obra	4,341,452.00
Materiales Anticorrosivos	918,480.00
Fletes de tubería, materiales anticorrosivos y piezas especiales	447,200.00
Protección catódica e inspección radiográfica	222,740.00
Válvulas, conexiones e instrumentos	186,964.00
Trampas de diablos	293,002.00
Estación de medición en Cuernavaca	500,000.00
Estación de bombas en Mexico, provista de 2 motobombas de 200 HP c/u (incluyendo mano de obra, conexiones e ins- trumentos	1,200,000.00
Ingeniería	688,000.00
Imprevistos y Administración	1,444,800.00
INVERSION TOTAL EN EL OLEODUCTO	24,575,638.00

B-2).- FLETES de Cuernavaca a Cuautla.

El costo total de flete hasta 1984, será de \$ 16,074,603.28

CALCULO DE LA ANUALIDAD

$$A = L \left[\frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

$$A = 40,650.241.28 \left[\frac{0.13 (1 + 0.13)^{10}}{(1 + 0.13)^{10} - 1} \right]$$

$$A = 7.487,774.00$$

COSTOS ANUALES:

Anualidad	\$ 7.487,774.00
Energía Eléctrica	4.526,832.00
Refacciones, Materiales y Lubricantes	1.357,688.83
Personal de Operación por turno	250,000.00
(3 encargados, 3 ayudantes y 3 obreros generales	
Otros	50,000.00
<hr/>	
COSTOS ANUALES TOTALES	\$ 9.370,462.83

El costo unitario por concepto de transporte en esta alternativa, será:

$$\frac{C A T}{\text{Bl/año}} = 4.40 \text{ \$/Bl.}$$

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

Después de analizar los resultados del cálculo y la evaluación económica para cada alternativa, podemos concluir que, la Alternativa No. 1, es la más económica y constaría de los siguientes oleoductos:

El oleoducto México-Cuernavaca, que estaría constituido por una tubería de 6 pulg. de diámetro, con una longitud de 86 km. y especificación A.S.A. B 36.10. Constaría de una estación de bombeo en México, con dos bombas centrífugas accionadas por un motor eléctrico de 200 HP cada una; una de las cuales sería de relevo. La presión de descarga, deberá ser igual a 938 lb/pulg^2 .

El oleoducto Cuernavaca - Cuautla, que constaría de una tubería de 4 pulg. de diámetro, con una longitud de 48 km. y especificación A.S.A. B 36.10. Este oleoducto sería una derivación del anterior y no contaría con equipo de bombeo.



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Badger, W.L., y J.T. Banchero. *Introducción to Chemical Engineering*. McGraw Hill. 1955.
- 2.- Brown, G.G. *Unit Operations*. John Wiley & Sons. 1960.
- 3.- *Estadísticas de la Gerencia de Ventas. Petróleos Mexicanos*.
- 4.- Foust, A.S. *Principles of Unit Operations*. John Wiley & Sons. 1960.
- 5.- *Informes de la Oficina de Mecanización y Computación. Petróleos Mexicanos*.
- 6.- Kirk, R.E., y D.F. Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Interscience Publishers. 1947 - 1957.
- 7.- Knudsen, J.G., y D.L. Katz. *Fluid Dynamics and Heat Transfer*. McGraw Hill. 1958.
- 8.- McCabe, W.L. y J.C. Smith. *Unit Operations of Chemical Engineering*, McGraw Hill. 1956.
- 9.- Perry, J.H. *Chemical Engineers' Handbook*. McGraw Hill, 1963.
- 10.- Steeter, V.L. *Fluid Mechanics*. McGraw Hill. 1962.
- 11.- *Tablas de Información de la Gerencia de Proyectos y Construcción*.
- 12.- Walker, W.H. *Principles of Chemical Engineering*. McGraw Hill. 1937.