

UNIVERSIDAD IBERO AMERICANA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA BERZELIUS

ESTUDIO DE LA OPERACION DEL
OLEODUCTO ATZCAPOTZALCO-LECHERIA

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

JOSE ANTONIO ROSAS J.

MEXICO, D. F. 1959



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis padres y hermanos.

A mis padrinos.

A mis maestros y amigos.

Quiero hacer patente mi agradecimiento al Sr. Quím. Dn. Luis M. Vereá, Director de la Facultad de Química -- Berzelius y al Sr. Ing. Rafael Chávez H. por su gran ayuda durante el transcurso de mi carrera, al Sr. Ing. Víctor L. Gámez K., Superintendente de Proceso de la Refinería "8 de Marzo",- quien con su empeño y ayuda técnica hizo que este trabajo cristalizara, a los Srs. Ing. José I. Marzal, jefe del Departamento de Bombas y Almacenamiento e Ing. José Luis García Luna, los que me ayudaron y orientaron en el desarrollo de la presente Tesis y muy especialmente al Sr. Ing. Enrique Vázquez Domínguez por sus sabios consejos y gran ayuda.

José Antonio Rosas J.

ESTUDIO DE LA OPERACION DEL OLEODUCTO
ATZCAPOTZALCO-LECHERIA.

CAPITULO I.

INTRODUCCION.

- a) Comparación de costos de transporte de productos viscosos (com bustóleos) por autotanques, carrotanques y por tubería.
- b) Características del bombeo de líquidos viscosos por tubería.
- c) Factores que decidieron la construcción del Oleoducto.

CAPITULO II.

EQUIPO EMPLEADO.

- a) Sistema de bombeo.
- b) Oleoducto.
- c) Almacenamiento.
- d) Sistema de prueba del equipo.

CAPITULO III.

VARIABLES DE OPERACION EN EL BOMBEO.

- a) Características físicas del combustible que pasa por el Oleo- ducto.
- b) Cálculo del coeficiente de transmisión de calor medio para di versas condiciones atmosféricas.
- c) Pérdida de calor en el Oleoducto.
- d) Cálculo de la temperatura media.
- e) Influencia de la temperatura ambiente.
- f) Cálculo de la caída de presión.

- g) Cálculo del desplazamiento del combustible ligero.
- h) Tiempo de paro permitido con la línea llena con combustible pesado.

CAPITULO IV.

DATOS DE OPERACION DEL OLEODUCTO.

- a) Eliminación del agua.
- b) Operación inicial.
- c) Segundo bombeo.
- d) Tercer bombeo.
- e) Cuarto bombeo.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES.

- a) Condiciones óptimas de bombeo.
- b) Criterio de operación de cada ciclo de bombeo.
- c) Método óptimo de suspensión de cada ciclo de bombeo.
- d) Observaciones.

CAPITULO VI.

BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO I.

SUMARIO.

INTRODUCCION:

- a) Comparación de costos de transporte de productos viscosos por autotanques, carrotanques y por tubería.
 - 1.- Gastos de acarreo por carrotanques de ferrocarril.
 - 2.- Costos de transporte por tubería.
 - 3.- Costos de transporte por autotanques.

- b) Características del bombeo de líquidos viscosos por tubería.
 - 1.- Ventajas.
 - 2.- Desventajas.

- c) Factores que decidieron la construcción del Oleoducto.

CAPITULO I.

INTRODUCCION.

El transporte de productos ligeros por tubería a grandes distancias, es muy común en la Industria Petrolera. Los productos -- viscosos presentan mayores dificultades y por lo tanto su bombeo se efectúa en pocas partes del mundo.

Estos productos son combustibles de alta viscosidad, tales -- como los residuos obtenidos en los diferentes procesos de destilación y cracking.

Hasta el año 1958 la Industria Petrolera Mexicana contaba -- con un oleoducto para combustibles de viscosidad elevada, que va de la Refinería "18 de Marzo" a la Planta Termoelectrica de No -- noalco y dos distribuidores, reportando magníficas ganancias económicas. Su manejo se puede considerar sencillo desde cualquier -- punto de vista. Es de tomarse en cuenta que la longitud aproximada al punto más distante es de 8 Km, y que la línea puede considerarse prácticamente aislada por estar enterrada en lugares donde hay pavimento. Se considera aislada además, porque el terreno presenta pocas filtraciones, lo que reporta una velocidad de transmisión de calor pequeña.

Teniendo en cuenta los grandes rendimientos obtenidos, se -- pensó en construir un oleoducto (de mayor longitud que el de No -- noalco) a la Planta Termoeléctrica de Lechería en Lechería, Edo. de México.

El proyecto de la construcción de dicho oleoducto para el -- transporte de combustibles de alta viscosidad, fué objeto de grandes discusiones durante mucho tiempo.

El principal obstáculo fué de carácter económico, ya que si el costo de este transporte fuera más elevado que por otros me---

dios, la construcción sería inco^steable.

Después de un estudio, tanto de carácter económico como de operación, se aprobó la construcción del Oleoducto de la Refinería "18 de Marzo" a la Planta Termoeléctrica de Lechería, siendo inau^gurado el día 10. de julio de 1958.

Esta tesis tiene por objeto estudiar las dificultades que se presentaron durante los primeros bombeos para la operación del Oleoducto, así como poner de manifiesto las grandes ventajas que - reporta el Oleoducto a la Planta Termoeléctrica de Lechería y a - la Industria Petrolera Mexicana.

a).- COMPARACION DE COSTOS DE TRANSPORTE DE PRODUCTOS VISCOSOS
POR AUTOTANQUES, CARROTANQUES Y POR TUBERIA.

El estudio de la comparación del costo de transporte de - productos viscosos por autotanques, carrotanques y tubería, se refiere en particular de la Refinería "18 de Marzo" a la Planta Ter^{mo}eléctrica de Lechería, pues en los tres casos intervienen facto^{res} que varían según la distancia a que se transporte el fluido, modificando el cálculo final e interviniendo por lo tanto en las ventajas o desventajas en el costo total de acarreo.

1).- Gastos de acarreo por carrotanques de ferrocarril.

- A).- Costo de embarque. (Datos promedio to^mados de los estados de costos de la Refinería "18 de Marzo").. ... \$/m³ 4.73
- B).- Arrastre de la Refinería a la Esta --
ción de Tacuba, \$32.42 \$/ctq. de 454 m³
\$/m³ 0.76
- C).- Flete de Tacuba a Lechería, \$100.00/ctq.
mínimo por ctq. de 45.4 m³. \$/m³ 2.20

D).- Renta de carrotanques \$37.50/día		
por carrotanque de 45.4 m ³ consi		
derando un viaje diario.	\$/m ³	0.83
		<hr/>
COSTO TOTAL POR m ³ .		\$8.52
COSTO TOTAL POR BARRIL		\$1.25

En este estado de gastos no se incluye el costo por descarga de los carrotanques, debido a que se puede considerar como si fuera un movimiento interno de la Planta Termoeléctrica de Lechería y que sería el mismo en los tres casos en estudio, ya que se tiene el mismo movimiento, tanto de los tanques de almacenamiento como de las fosas de vaciado hacia los tanques de abastecimiento de las calderas.

2).- Costos de transporte por tubería.

α).- Costo total aproximado del Oleoducto.

A).- 1 Km. de tubería de 12 3/4" de D _e		
y 0.375" de espesor de pared (49.562 lb/pie ó --		
73.85 Ton/Km) o sean 73.85 Ton. a \$2 100.00/Ton.	\$	155 000.00
20 Km. de tubería de 12 3/4" de -		
D _e y 0.250" de espesor de pared (33.38 lb/pie ó		
49.7 Ton/Km) o sean 994 Ton. a \$2 100.00 Ton.	\$	2 097 400.00
B).- 21 Km. de tendido de la tubería -		
anterior a \$ 48 000.00/Km., incluyendo envoltura		
anticorrosiva.	\$	1 008 000.00
C).- Válvulas y accesorios	\$	100 000.00
D).- Derecho de vía*	\$	-----

TOTAL DE LA TUBERIA.	\$ 3 360 400.00
Costo por Km.	\$ 163 000.00

E).- Una estación de bombeo con tres bombas centrífugas (dos de trabajo y una de reserva) -- con capacidad de 495 G.P.M. contra 390 lb/in² -- (905') con motor eléctrico de 150 H.P. cada una. Potencia total: 450 H.P. a \$ 1 900.00 por H.P. instalado, incluyendo Casa de Bombas.

\$ 855 000.00

Total.

\$ 4 215 400.00

10% administración e imprevistos.

\$ 421 540.00

\$ 4 636 940.00

* El costo del derecho de vía se omite, debido a que se utilizó en su totalidad los derechos de vía del Gasoducto y Oleoducto de Poza Rica a la Refinería "18 de Marzo", el de las torres de la Compañía de Luz, el de los F.F. C.C. y el de la Carretera México-Querétaro, que según convenios de Petróleos Mexicanos, no causan ningún gasto.

β).-Costos de transporte.

Los costos de transporte se dividen en costos fijos anuales y costos variables anuales.

Costos fijos anuales.

A).- Amortización en 20 años al 6% anual.* \$ 402 340.00

B).- Operación de tres bomberos clase "C",
o sean \$ 120.00/día.**

C).- Conservación del Oleoducto. \$ 50 000.00

D).- Administración. \$ 20 000.00

Total de costos fijos. \$ 472 340.00

* La amortización anual se calcula mediante la fórmula sig.:

$$P = Ct \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

En donde:

P = cantidad anual de amortización.

C_t = capital total invertido.

i = interés.

n = años en los que se amortizará.

** El costo de operación de tres bomberos clase "C" se omite, debido a que las bombas se operan con el personal ya existente en la Casa de Bombas 3, sin ningún sobresueldo. Estos bomberos operan el equipo total de dicha Casa de Bombas.

Costos variables anuales.

Dependen del gasto que consuman en la Planta Termoeléctrica, que será calculado para consumos de 2 500, 5 600, 8 700 y 10 000 barriles diarios, que según las estadísticas son el consumo promedio de combustóleo.

Entrega a la Planta				
Termoeléctrica.	2500	5600	8700	10000
Consumo anual de Energía Eléctrica en miles de KWH.	511	1150	1780	2045

1.- Costo de Energía Eléctrica a \$0.048

por KWH (costo de generación en la Ref.

"18 de Marzo") \$ 25000 55000 86000 98000

2.- Lubricantes, mantenimiento, suministro y misceláneos

a 30.45/HP/día. \$ 11000 23000 38000 41000

Total de costos

variables. \$ 36000 78000 122000 139000

Costo total anual, \$508340.00 550340.00 594000.00 611340.00

Volumen anual transportado en bbls.

913000 2045000 3175000 3650000

Cargo por barril transportado.

0.552 0.270 0.187 0.168

Cargo por lavado de línea con combustible ligero.

1.250 0.320 0.130 0.091

Cargo total por barril transportado.

1.802 0.590 0.317 0.259

Cargo por lavado de línea, con sopleador del Oleoducto.

0.610 0.157 0.063 0.044

1.162 0.427 0.240 0.212

Al llegar el consumo de la Planta Termoeléctrica al gasto mínimo permisible, por pérdida de calor no hay cargo por lavado de línea.

Los gastos de soplado son mínimos en comparación con el desgaste del equipo y el volumen de combustible necesario para establecer un flujo normal.

Cálculo del costo de lavado de línea.

V_a = Volumen de almacenamiento.

V_e = Volumen interior de la línea.

V_L = Volumen interior de la línea con soplado del Oleoducto.

N_e = Número de paros y bombeos en un año.

C_a = Costo de tanques por barril almacenado.

C_e = Diferencia entre los costos por barril del combustible ligero y el pesado.

N = Número de días de bombeo en cada período de bombeo.

Q = Gasto bombeado.

q = Consumo diario.

F = Factor de amortización.

$$V_a = NQ - Nq.$$

Volumen que debe bombearse en un año:

$$365q = N_e NQ.$$

$$\therefore N = \frac{365q}{N_e Q}$$

$$\therefore V_a = \frac{365q}{N_e} \left(1 - \frac{q}{Q}\right)$$

∴ Costo por año (C): ~

$$C = F C_a V_a + N_e C_e V_e$$

Derivando C con respecto a N_a e igualando la derivada a cero y despejando V_a :

$$V_R = \frac{(365 C_e V_e)^{1/2}}{F C_B} \left[q \left(1 - \frac{q}{Q} \right) \right]^{1/2}$$

Si:

- $C_e = 3.00$ \$/bbl.
- $V_e = 10\ 400$ bbl.
- $C_B = 14$ \$/bbl.
- $F = 0.135$
- $V_L = 5\ 020$ bbl.
- $Q = 13\ 650$ bbl.

Si N_1 : número de días sin bom
beo en cada ciclo:

$$(N + N_1)q = N Q$$

$$N_1 = \frac{V_R}{q}$$

$$N = \frac{q/Q}{1 - q/Q} N_1$$

Por consiguiente: $V_R = 2\ 450 \left[q \left(1 - \frac{q}{Q} \right) \right]^{1/2}$

$$\text{Costo por lavado de línea} = \frac{C_e V_e N_1}{365 q}$$

q	q/Q	(1-q/Q)	q(1-q/Q)	$[q(1-q/Q)]^{1/2}$	V_R
2500	0.183	0.817	2045	45	110000
5600	0.410	0.590	3310	57.2	140000
8700	0.638	0.362	3155	56	137000
10000	0.730	0.270	2700	51.8	120500

q	N_1	$\frac{q/Q}{1-q/Q}$	N	$C_e V_e$	NQ	C_L \$/bbl	$C_e V_L$	$C_{L(2)}$
2500	8.05	0.225	1.82	31200	24950	1.25	15200	0.610
5600	10.20	0.693	7.10	31200	87000	0.32	15200	0.157
8700	10.00	1.760	17.60	31200	240000	0.13	15200	0.063
10000	9.25	2.700	25.00	31200	342000	0.091	15200	0.044

C_L se refiere al costo del combustible por lavado de línea y $C_{L(2)}$ al costo del combustible por lavado de línea con soplado del Oleoducto.

3.- Costo de transporte de combustóleo por autotanques.

Al igual que los costos anteriores, el costo de transporte de combustóleo por autotanques se refiere en particular a la - Planta Termoeléctrica de Lechería y aquí se presenta un caso especial, pues Petróleos Mexicanos, dado el retraso en la construcción del Oleoducto y bajo convenio con la Compañía de Luz estuvo entregándole combustóleo de una viscosidad Seybolt Furol (V.S.F.) de 500", puesto en la Planta Termoeléctrica y al precio de combustible pesado, sin cargar el flete que se hizo por medio de los -- concesionarios en el Distrito Federal, cobrando éstos un flete de \$ 12.00/m³, que en el estudio comparativo se carga sobre el precio del combustóleo, pues en el caso mencionado anteriormente es muy especial.

Gastos de flete por m³..... \$ 12.00

Gasto de flete por barril \$ 1.904

b).- CARACTERISTICAS DEL BOMBEO DE LIQUIDOS VISCOSOS POR TUBERIA.

Las principales características del bombeo de líquidos viscosos por tubería son, el efecto que tiene la viscosidad al enfriarse el combustóleo al ofrecer una resistencia que es necesario vencer aumentando poco a poco el flujo y haciendo que la pérdida de temperatura y la caída de presión vayan disminuyendo hasta establecer las condiciones normales de operación.

La temperatura o más bien las condiciones atmosféricas ejercen un papel muy importante en las condiciones de operación, pues tienen efecto sobre la viscosidad y ésta sobre la caída de presión, que directamente rigen el flujo. Este en un principio va aumentando hasta tener condiciones de temperatura y viscosidad favorables.

rables.

1.-Ventajas.

Las ventajas del bombeo de líquidos viscosos por tubería son en primer lugar económicas y en segundo lugar, el poder manejar cantidades de combustóleo que por otros medios sería problemático, pues ya sea por carrotanques o autotanques, se necesitaría un equipo muy numeroso y de gran costo. A la vez se evita el problema del manejo de personal, que en muchos casos crea dificultades, sobre todo cuando es numeroso.

2.- Desventajas.

La mayor desventaja en bombes de líquidos viscosos por tubería, es un taponamiento de la línea debido a un descenso de temperatura tal que llegase a igualar la temperatura de congelación del líquido viscoso, pues en este caso sería casi imposible de efectuar dicho bombeo, sobre todo en el caso de que los bombes no sean continuos o si se tienen a velocidades muy lentas, ya sea por distancias largas o por altas viscosidades, que son los principales factores de resistencia a dichos bombes.

Además tiene otra gran ventaja, que en caso de alguna ruptura de consideración sobre todo en bombes continuos, ocasionaría un grave trastorno, pues habría necesidad de un paro de la Planta, el cual traería graves consecuencias.

c).-FACTORES QUE DECIDIERON LA CONSTRUCCION DEL OLEODUCTO.

Uno de los principales motivos de la construcción del Oleoducto "Refinería 18 de Marzo - Termoeléctrica de Lechería", es el económico, pues más adelante en este estudio se verá que en las con-

diciones de contrato entre Petróleos Mexicanos y la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz, se tiene un ahorro considerable dentro de los primeros veinte años y que aumenta después de este período, en el cual se amortiza el costo total del Oleoducto e intereses sobre el capital invertido. Posteriormente, sólo Petróleos Mexicanos cobrará una renta por dicho uso del Oleoducto, que en comparación por el costo de transporte por carrotanque y autotanque, sería mucho menor. La Planta Termoeléctrica, a capacidad Máxima se vería en un problema para el manejo del fluido en su descarga de autotanques y carrotanques, para trasvasar a los tanques de almacenamiento. Esta es otra de las ventajas del Oleoducto, el llegar directamente a los tanques mencionados.

Para condiciones de consumo de 10 000 bbl/día sería necesario un equipo de 42 carrotanques de una capacidad de 38 m³/ctq.; lo que traería como consecuencia el alquiler o compra de una máquina para hacer movimientos y facilitar el trasvase del fluido a los tanques de almacenamiento. También se ahorra el costo de un personal especial para la descarga de estos carrotanques.

Para las mismas condiciones de consumo máximo, por autotanques necesitarían un equipo de 107 unidades de capacidad promedio de 15 m³/autotanque. En este caso se presenta también el aumento en el costo por el personal necesario para el manejo de dicho equipo y sus consecuentes dificultades para el manejo del fluido y su trasvaso.

El equipo de carrotanques y autotanques mencionado, sería para cubrir estrictamente el consumo diario, pero debe contarse siempre con un excedente (almacenamiento) para un caso de emergencia.

Este caso de emergencia, sería una obstrucción de las vías de comunicación, tanto por carretera como por vía de ferrocarril.

Todas las ventajas anteriores son de gran importancia para la Compañía de Luz; para Petróleos Mexicanos, las ventajas son de una mejor distribución de sus productos (combustóleos) y el poder surtir a otras industrias, ya que la Planta Termoeléctrica está instalada en una zona industrial.

El Oleoducto proporciona a la Refinería "18 de Marzo" la ventaja de una mayor distribución de sus combustóleos, sobre todo en tiempo de lluvias. Es de vital importancia, dado el consumo de gasolina de la Ciudad de México y sus alrededores y la gran cantidad de combustóleos que se producen para obtener dicha gasolina.

Se tiene además debido al tiempo de lluvias, una disminución en el gasto por parte de los consumidores. P.j. las plantas termoeléctricas bajan su capacidad, para que las plantas hidroeléctricas trabajen a capacidad máxima.

Como datos promedio de la Refinería "18 de Marzo" en tiempo de lluvias se tienen las siguientes salidas: (junio a octubre)

Por ctq. (60 ctq./día).	16 000 m ³ /semana (7 días)
Por Oleoducto a Nonoalco.	17 000 m ³ /semana.
Por Oleoducto a Lechería.*	2 100 m ³ /semana.
Total.	35 100 m ³ /semana.

* En el presente año, en que las presas de alimentación a las Plantas hidroeléctricas están llenas, el consumo de la Planta -- Termoeléctrica de Lechería es muy bajo. En tiempos normales, se espera que el consumo sea de 4 900 m³ por semana.

En el período comprendido de noviembre a mayo se tiene la siguiente distribución:

Por ctq. (130 ctq./día)	34 500 m ³ /semana (7días)
Por Oleoducto a Nonoalco.	23 600 m ³ /semana.
Por Oleoducto a Lechería.	11 110 m ³ /semana.
Total.	69 210 m ³ /semana.

CAPITULO II.

SUMARIO.

EQUIPO EMPLEADO:

- a) Sistema de bombeo.
 - 1.- Equipo de diseño.
 - 2.- Equipo auxiliar.
- b) Oleoducto.
- c) Almacenamiento (Lechería).
- d) Prueba del equipo.

CAPITULO II.

EQUIPO EMPLEADO.

a).- SISTEMA DE BOMBEO.

El equipo o sistema de bombeo consta de cinco tanques de combustóleo pesado (500" V.S.F. a 50°C) y tres tanques de combustóleo ligero (150" V.S.F. a 50°C), que cubren el servicio de almacena--- miento normal y las necesidades de distribución de la Refinería -- "18 de Marzo" y un equipo de bombeo del Oleoducto y otro existente ya en dicha Refinería, que puede considerarse auxiliar en caso de necesitarse más presión de descarga en el Oleoducto.

1.- Equipo de diseño.

El equipo de diseño consta de dos bombas centrífugas (RJP 76 A y B) de cuatro etapas, que se pueden emplear en serie o en pa--- ralelo, según las necesidades de presión o de flujo. A estas bom--- bas se les hizo la modificación de eliminarles un paso, debido a - que prácticamente se vió que el motor no soportaba la sobrecarga - tomada, efecto de la resistencia que ofrecía el paso del líquido - viscoso.

Motor:		Bomba:	
R.P.M.	3 565	R.P.M.	3 550
H.P.	150	4x6x4 S.T.G. O.L.M.X.	
Amn.	35	905 H.F.	
Volts.	2 300	0.83 Sp. Gr. a 100°F.	
Ciclos.	60	495 G.P.M.	
Fases.	3		

2.- Equipo Auxiliar.

El equipo auxiliar consta de tres bombas centrífugas de un solo impulsor, que se pueden emplear según muestra el diagrama de flujo adjunto. Tienen las siguientes características:

R.J.P.-20-El.

Motor.		Bomba.	
H.P.	150	G.P.M.	1 000
Volts.	440	S.T.G.	6 x 5
Ciclos	60	R.P.M.	1 770
Amp.	180	H.F.	240
R.P.M.	1 770	Efic.	75%
Fases	3		

R.J.P.-22

Motor.		Bomba.	
H.P.	150	G.P.M.	1 000
Volts.	440	H.F.	240
Ciclos	60	R.P.M.	1 750
R.P.M.	1 770	S.T.G.	6 x 4
Amp.	180	Efic.	75%
Fases	3		

b).- OLEODUCTO.

El Oleoducto consta de 21 Km. aproximadamente, de una tubería de tres tipos diferentes. En la Casa de Bombas 3 de la Refinería - "18 de Marzo" tiene un tramo de 6" de diámetro y 16 m. de longitud. Continúa con un tramo de 12 3/4" de diámetro y un espesor de 3/8", con una longitud aproximada de 1 Km. y el resto del Oleoducto es de tubería de 12" de Di. y 1/4" de espesor.

El Oleoducto está construido con tramos de tubería de 16 m. de largo, soldado con arco eléctrico de 300 amp., aplicándosele un cordón de penetración y dos cordones de recubrimiento, controlándose el trabajo en su totalidad con pruebas radiográficas.

La tubería se encuentra cubierta con una capa de asfalto Proteja de 1 mm. de espesor, cubierta con tela de fibra de vidrio y como protección final una cubierta de fieltro asfáltico, para evitar la corrosión externa debido a la humedad y agentes corrosivos, como gases, líquidos y polvos ácidos y básicos ya que una parte del Oleoducto atraviesa una zona agrícola.

La tubería se encuentra sepultada en una zanja de 1.00 ó 1.50m por 0.50 m., según la región, para el cruce de calles, pavimentos, vías de ferrocarril o carreteras y es aérea en los cruces de ríos y canales.

Se enterró a 1.00 x 0.50 m. de profundidad en lugares donde se encuentran calles pavimentadas o razante definida de un futuro pavimento y a 1.50 x 0.50 m. en lugares donde no exista pavimento.

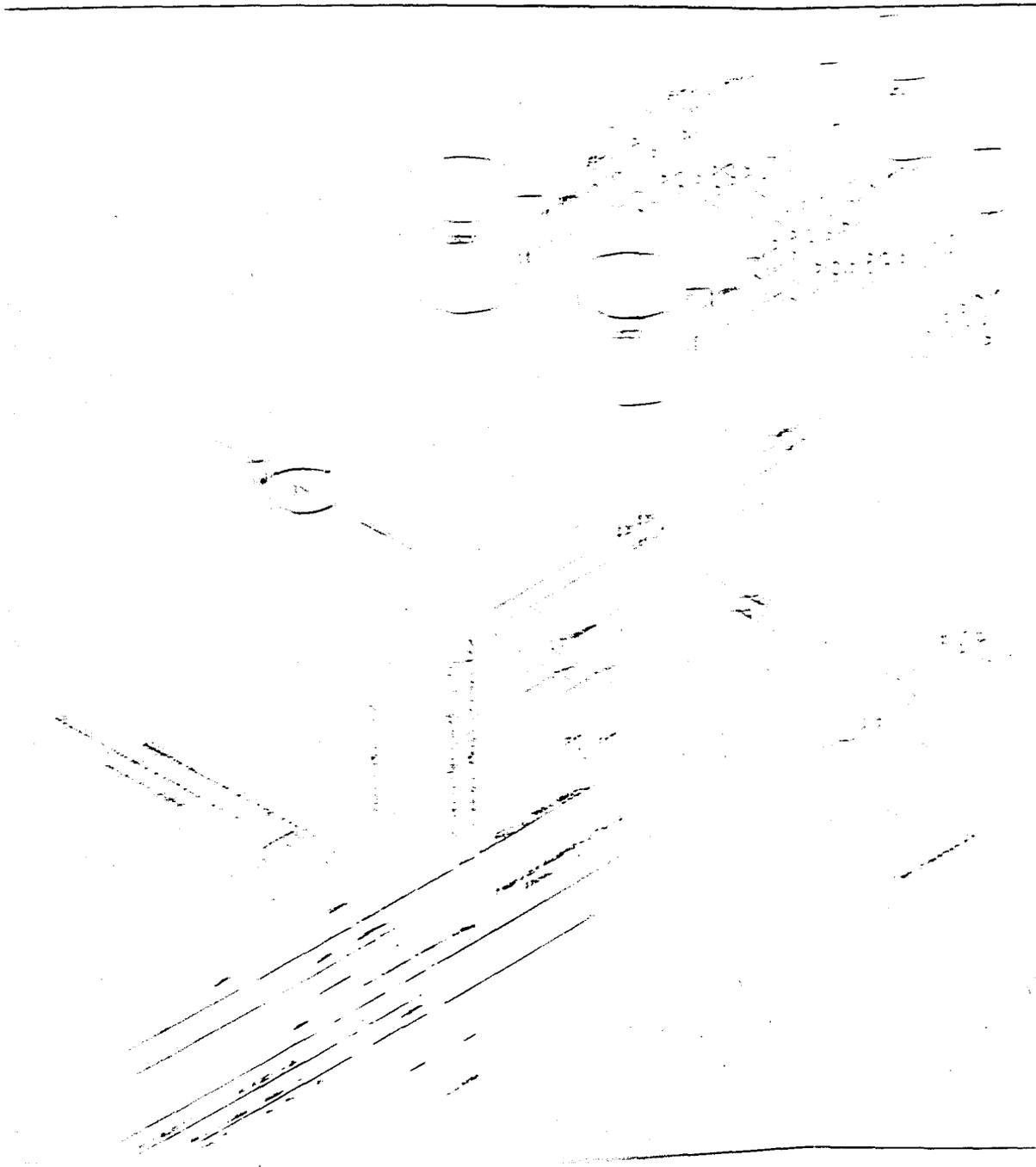
En el cruce de carreteras se hizo de acuerdo con las disposiciones de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, así como en el cruce de ríos y canales y en la Planta Termoeléctrica de Leche ría, de acuerdo con la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz.

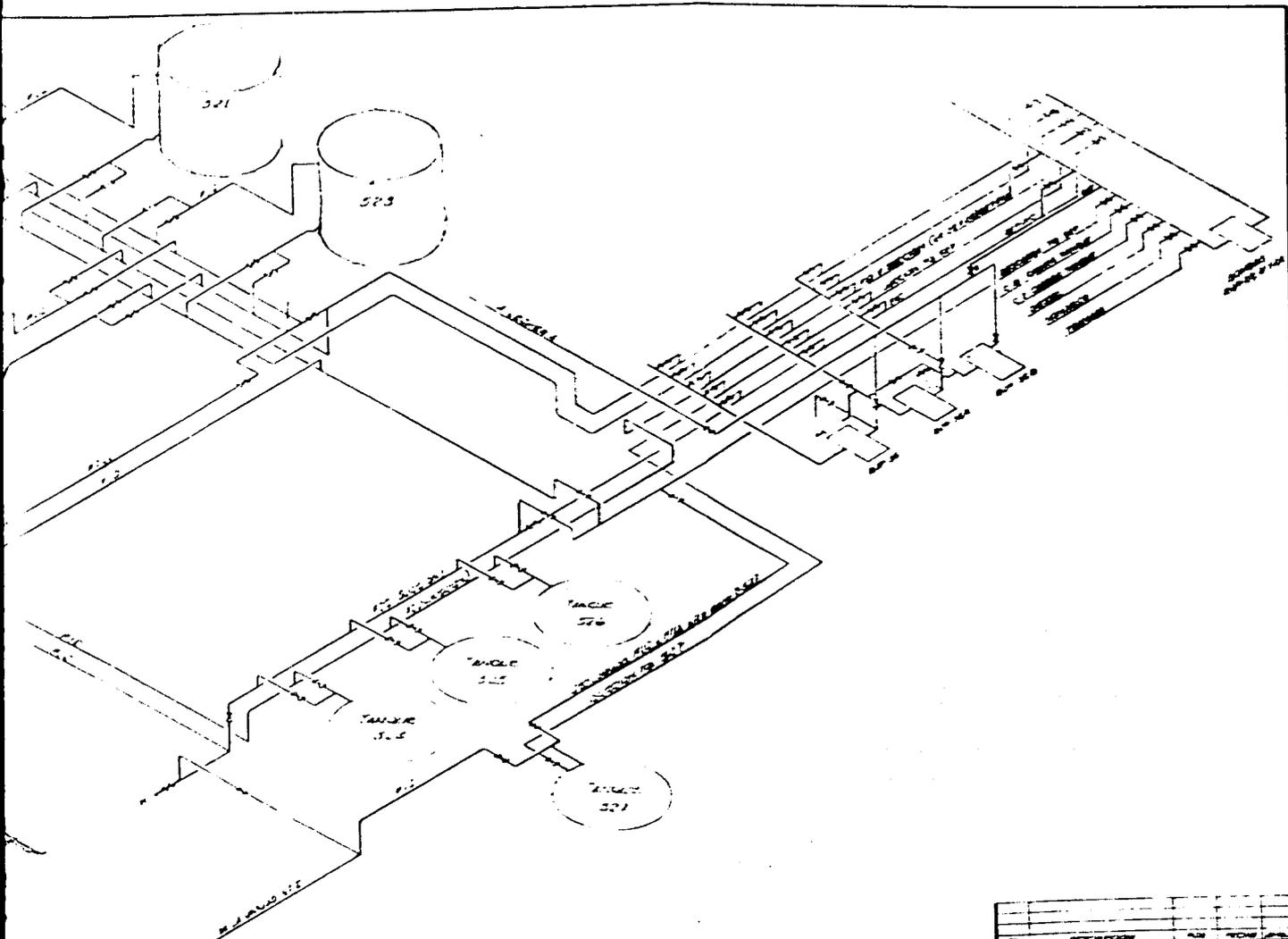
La trayectoria del Oleoducto es la siguiente:

Se localiza de acuerdo con el plano 4A 7(30) aprovechando los derechos de paso del antiguo Oleoducto de 30 cm. entre Poza Rica, Ver. y la Refinería "18 de Marzo", Atzacapotzalco, el derecho de paso del gasoducto entre la citada Refinería y la población de Lechería, Edo. de México, y en diversas partes, el derecho de vía de caminos y de los Ferrocarriles Nacionales de México como se indica a continuación.

Parte del Oleoducto se construyó dentro de la Casa de Bombas 3 de la Refinería "18 de Marzo" hasta el punto E marcado en el plano. Del punto E a la estación No. 1 se aprovechó el derecho de paso de las torres de alta tensión de la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz, encontrándose entre el punto E y el punto C pavimento asfáltico. Entre la estación No. 1 y la estación No. 25, situada en las márgenes del río de Los Remedios, se aprovechó el derecho de paso del antiguo Oleoducto de 30 cm. entre Poza Rica, Veracruz y la Refinería "18 de Marzo". De la estación No. 25 a la estación No. 40, aprovechó el derecho de paso del gasoducto de 50.8 cm. entre la Refinería "18 de Marzo" y Lechería, Edo. de México. Para el tramo comprendido entre la estación No. 40 y la estación No. 50, se usó el derecho de vía de la Ferrocarriles Nacionales de México en el patio de la estación de carga de Tlalnepantla. Entre la estación No. 50 y la estación No. 69 se aprovechó el derecho de paso del gasoducto de 12". Entre la estación No. 69 y la estación No. 74, se usó el derecho de vía de la carretera a Cuautitlán y una calle sin pavimentar del Poblado de Barrientos.

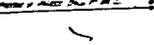
Entre la estación No. 74 y la estación No. 87, el Oleoducto queda localizado dentro del derecho de vía de los Ferrocarriles Nacionales de México. De la estación No. 87 a la estación No. 90, el Oleoducto se encuentra en el derecho de vía de un camino de tierra





NOTAS

EN EL MOMENTO DEL DISEÑO DEL
SE USTO COLABORARON MAYEN

SECCION	AÑO	TOMO	FOLIO
PETROLEOS MEXICANOS REFINERÍA DE BUENAVISTA CANTON DE BUENAVISTA			
DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE REFINACIÓN E INYECTORES DE H ₂ O			
PLANTA A, E, F, G, H, I, J, K			
PROYECTO	NO. FOLIO	FECHA	ACTIVO
REVISADO POR	NO. FOLIO	FECHA	ACTIVO
APROBADO	NO. FOLIO	FECHA	ACTIVO
ELABORADO	NO. FOLIO	FECHA	ACTIVO
REVISADO POR	NO. FOLIO	FECHA	ACTIVO
APROBADO	NO. FOLIO	FECHA	ACTIVO
			85 2326
SECCION DE INGENIERIA			

que comunica la nueva carretera México-Querétaro y la carretera México-Cuautitlán. De la estación No. 90 a la estación No. 33 se localiza el Oleoducto en el derecho de vía de la nueva carretera México-Querétaro e inmediatamente después entra por la parte sur de la Planta Termoeléctrica de Lechería a los tanques de almacenamiento.

El Oleoducto tiene en la Casa de Bombas 3 los aparatos de control de temperatura, de flujo y de presión y además un injerto de dos pulgadas que comunica a una línea de aire, que se empleó para la eliminación del agua con que se probó el Oleoducto.

Cada 5 Km. aproximadamente se encuentra un registro con una válvula de compuerta que se emplea para bloquear tramos, para uso únicamente del tramo bloqueado en caso de alguna reparación o bien para independizar los tanques de almacenamiento de Lechería o los de la Refinería, del resto de la línea que se desee. P.ej. en caso de querer soplar un tramo hacia uno u otro lado para mejorar la operación al principio de cada boteo. También existe en cada registro un termopozo y un manómetro para el control de operación de dicho Oleoducto.

Delante del tanque No. 2 de almacenamiento de Lechería se tiene un doble block con una purga, que servirá para hacer un injerto en caso de utilizar el mismo Oleoducto para abastecer otras industrias.

El Oleoducto entra a los tanques de almacenamiento por la parte superior; cada tanque es independiente, con su válvula de bloqueo para poder usarlos separadamente.

En la parte superior del codo de la línea de recibir de cada tanque en la Planta Termoeléctrica, se tiene un injerto del codo al techo del tanque con su respectiva válvula, que se emplea para evitar que los tanques vibren y se deterioren en caso de soplar, ya que la línea de recibir lleva casi al piso del tanque.

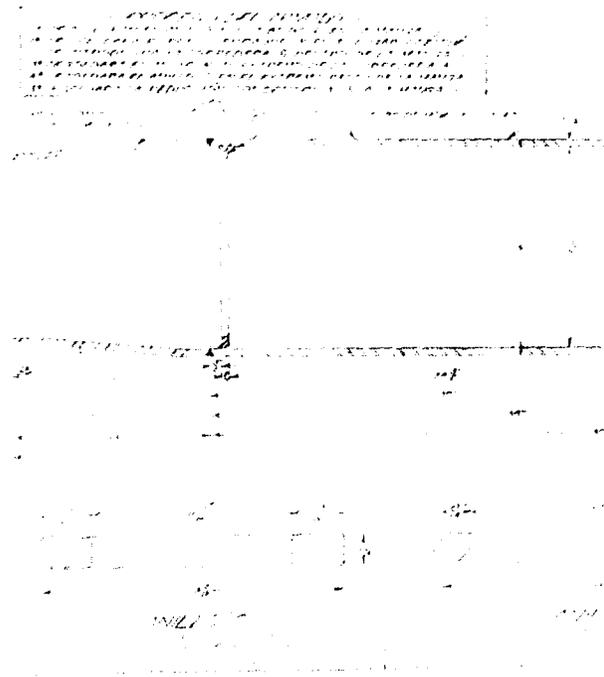
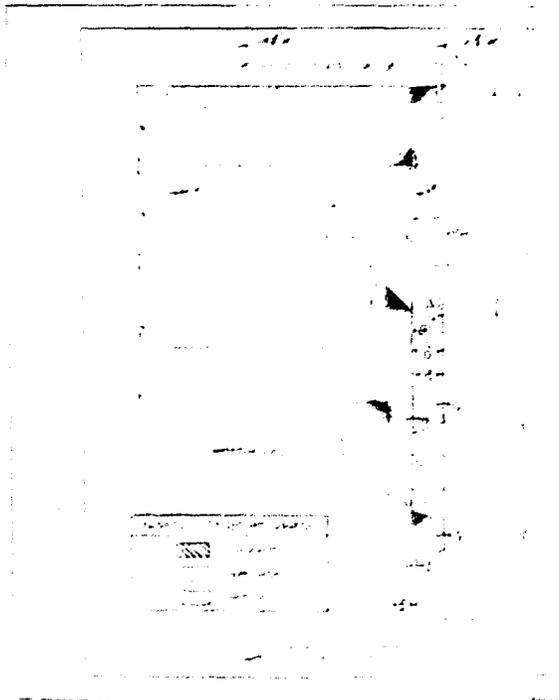
Juntas de Expansión.

Cuando se empezó la construcción del Oleoducto, se pensó en incluir a lo largo de la tubería 20 juntas de expansión, para permitir el libre corrimiento de la tubería debido al ascenso y descenso de temperatura, que ocasiona una tensión y una expansión considerables, según se trate de un enfriamiento o un calentamiento de la línea; al fin se acordó que eran innecesarias, pues el espesor de la tubería era suficiente para resistir muchos cambios de temperatura.

Durante el primer bombeo ya en forma experimental se vió la necesidad de las juntas de expansión; en la primera parte curva de la línea, se salió ésta de su posición, corriéndose aproximadamente 0.50 m. En el primer cruce de una calle pavimentada rompió el pavimento corriéndose como 0.80 m. de su posición normal y así en varias partes sucedió lo mismo, por lo que se optó por poner las juntas de expansión donde el mismo Oleoducto lo iba indicando.

La temperatura alta ocasionó una expansión, que no provocó -- ruptura alguna, debido a las partes curvas del Oleoducto; seguramente, sin estas partes curvas se habrían tenido fugas, con graves consecuencias en el estreno del Oleoducto.

Las juntas de expansión son de tipo telescópico y constan de dos tubos concéntricos de diferente diámetro con una caja de empaque.



RECEIVED
FEBRUARY 19 1964
U.S. AIR FORCE
HEADQUARTERS
WASHINGTON, D.C.

la misma Planta y que junto con un sistema de circulación sirven para homogeneizar y calentar el fluido viscoso hasta una temperatura de 60°C, que hace más fácil su manejo ya que en el transporte por el Oleoducto se llega a enfriar hasta una temperatura de 18°C.

Cada tanque tiene su sistema de circulación y de calentamiento independiente al igual que el de recepción del Oleoducto para poder trabajar libremente con un tanque, mientras el otro queda -- bloqueado por estar recibiendo combustible del Oleoducto.

Los tanques mencionados son exclusivamente de almacenamiento y de éstos se trasvasa a dos tanques que sirven para alimentar directamente a las calderas.

En caso de necesidad de operación, los tanques 1 y 2 pueden estar sin abastecer a los tanques 3 y 4 durante 8 hs. aproximadamente a capacidad máxima de la Planta Termoeléctrica y mayor tiempo mientras menor sea el consumo de las calderas.

El consumo máximo se alcanza durante la época de escasez de agua y es mínimo durante el tiempo de lluvias, ya que dicha Planta Termoeléctrica está regulada por la producción de energía de la región de Necaxa y ésta a su vez por la cantidad de agua almacenada en suspresas.

Al terminar el primer bombeo, no se llenó la línea con combustible ligero, como estaba prescrito en el proyecto y en el contrato del Oleoducto; en su defecto se sopló durante 8 hs. (3 hs. para la Planta Termoeléctrica y 5 hs. hacia la Refinería) para compensar el cambio de viscosidad de un combustible a otro.

Durante este primer soplado, el tanque de Lechería vibró continuamente (tanque 1), lo que ocasionó que la estructura se estuviera aflojando; ésto se debió a que la línea de recibir llegase -- casi hasta el piso del tanque, como se observa en el dibujo.

Para sopladados posteriores y para eliminar el aire, evitando - que llegara al fondo se injertó a la tubería de entrada una línea de 2" soldada al techo del tanque, lo que facilitó la eliminación del aire de soplado y evitó las vibraciones.

d).- PRUEBA DEL EQUIPO.

La resistencia e impermeabilidad del equipo se llevó a cabo - con agua y a una presión de 80 Kg/cm², tardándose en levantar la - presión con una bomba simplex que inyectó el agua mediante una co- nexión a una brida del orificio de medición en un tiempo de 13.5 - hs.

El tiempo de prueba del Oleoducto fué de 24.5 hs. y al cabo - de éstas hubo un abatimiento de 8 Kg/cm² originado por cambios de temperatura y fugas en los prensaestopa de las tres válvulas del O leoducto y en la válvula de bloqueo en la Planta Termoeléctrica.

Durante el tiempo de prueba, se recorrió el Oleoducto en toda' su extensión, para revisarlo totalmente y poder recibirlo del cons- tructor.

CAPITULO III!

SUMARIO.

VARIABLES DE OPERACION EN EL BOMBEO.

- a) Características físicas del combustible que pasa por el Oleoducto.
- b) Cálculo del coeficiente de transmisión de calor-medio para diversas condiciones atmosféricas.
 - 1.- Cálculo del calor específico medio.
 - 2.- Cálculo del área de transmisión de calor.
 - 3.- Cálculo de U_m .
- c) Pérdida de calor en el Oleoducto.
- d) Cálculo de la temperatura media.
- e) Influencia de la temperatura ambiente.
- f) Cálculo de la caída de presión.
 - 1.- Cálculo de la temperatura media.
 - 2.- Cálculo de la viscosidad a esta temperatura-media.
 - 3.- Cálculo del número de Reynolds medio.

4.- Cálculo de la pendiente hidráulica.

5.- Cálculo de la caída de presión.

g) Cálculo del desplazamiento del combustible ligero.

h) Tiempo de paro permitido con la línea llena con -
combustible pesado.

1.- Cálculo de la viscosidad.

2.- Cálculo de T para diferentes valores de t_f .

CAPITULO III.

VARIABLES DE OPERACION EN EL BOMBEO.

Las variables que se discutirán en este capítulo, son las que rigen la operación del Oleoducto y darán un criterio sobre el manejo del equipo y sobre el empleo de los diversos combustibles de -- que se dispone.

Los puntos que se van a considerar están íntimamente ligados entre sí y son los siguientes:

Características físicas del combustible que pasa por el Oleoducto, Coeficiente de transmisión de calor medio considerando la longitud del Oleoducto, pérdida de calor en el Oleoducto, temperatura media, influencia de la temperatura ambiente, caída de presión la cual implica el cálculo del factor Reynolds (R_e) que es función directa de la temperatura ambiente, de la temperatura media y del flujo bombeado.

Esta serie de funciones nos permitirá calcular la presión necesaria para el desplazamiento del combustible ligero frío existente en la línea después de cada período de bombeo y el tiempo de paro permitido con la línea llena con combustible pesado, factor determinante en caso de alguna falla del equipo.

Este conjunto de variables y factores, permitirá tener un criterio para operar el Oleoducto en las condiciones óptimas de eficiencia, así como el equipo de bombeo con que se dispone.

a).- CARACTERISTICAS FISICAS DEL COMBUSTIBLE QUE PASA POR EL OLEODUCTO.

El combustóleo que la Refinería "18 de Marzo" bombea a la --

Planta Termoelectrónica de Lechería tiene las siguientes especificaciones:

Temperatura de inflamación P.M.C.C.	65°C mínimo.
Agua y sedimento (‰ en volumen).	2 ‰ máximo.
Poder calorífico superior (calorías/gramo).	10 000 mínimo.
Viscosidad Seybolt Furol a 50°C.	575 seg. máximo.

Cuando se hizo el proyecto de la construcción del Oleoducto, la Refinería "18 de Marzo" contaba únicamente con una mezcla de residuo primario, producto de la destilación primaria del crudo y residuo de cracking, producto de una planta de cracking térmico, que empleaba como carga parte de la producción del crudo reducido obtenido en la destilación primaria.

Actualmente el combustóleo que distribuye la Refinería es mezcla de residuo primario, de asfalto (producto de una destilación al vacío) reducido de viscosidad por cracking térmico, a los que se les agrega gasoleo primario o aceites diluentes producidos por la Planta de cracking catalítico.

El comportamiento de los dos tipos de combustóleo, en lo referente a la variación que sufre su viscosidad por la temperatura es diferente, como se ve en la gráfica adjunta.

Normalmente la viscosidad se determina en el Laboratorio con el viscosímetro Saybolt, a una temperatura de 50°C (122°F) y cuando el resultado es de 500" S.F. exactamente, su comportamiento se ajusta a curva para combustibles pesados de la gráfica antes mencionada.

Si el combustible tiene una viscosidad diferente a 500" S.F. se podrán trazar líneas paralelas a dicha curva partiendo del punto determinado por la temperatura de 50°C (122°F), conociendo así la variación que sufre la viscosidad de dicho combustible con la variación de temperatura.

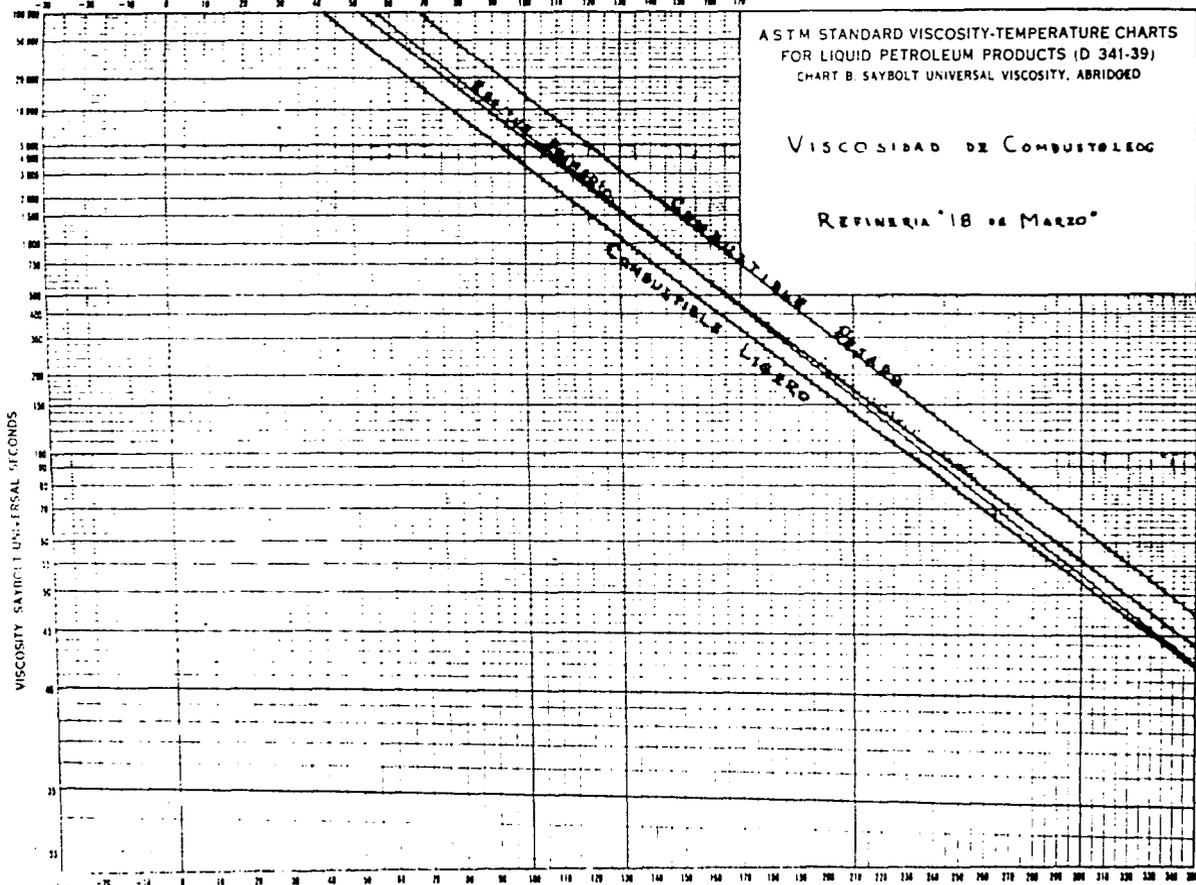
TEMPERATURE, DEGREES FAHRENHEIT

AMERICAN STANDARD
D 341-39

ASTM STANDARD VISCOSITY-TEMPERATURE CHARTS
FOR LIQUID PETROLEUM PRODUCTS (D 341-39)
CHART B. SAYBOLT UNIVERSAL VISCOSITY, ABRIDGED

VISCOSIDAD DE COMBUSTIBLES

REFINERIA "18 DE MARZO"



VISCOSITY, SAYBOLT UNIVERSAL SECONDS

VISCOSITY, SAYBOLT UNIVERSAL SECONDS

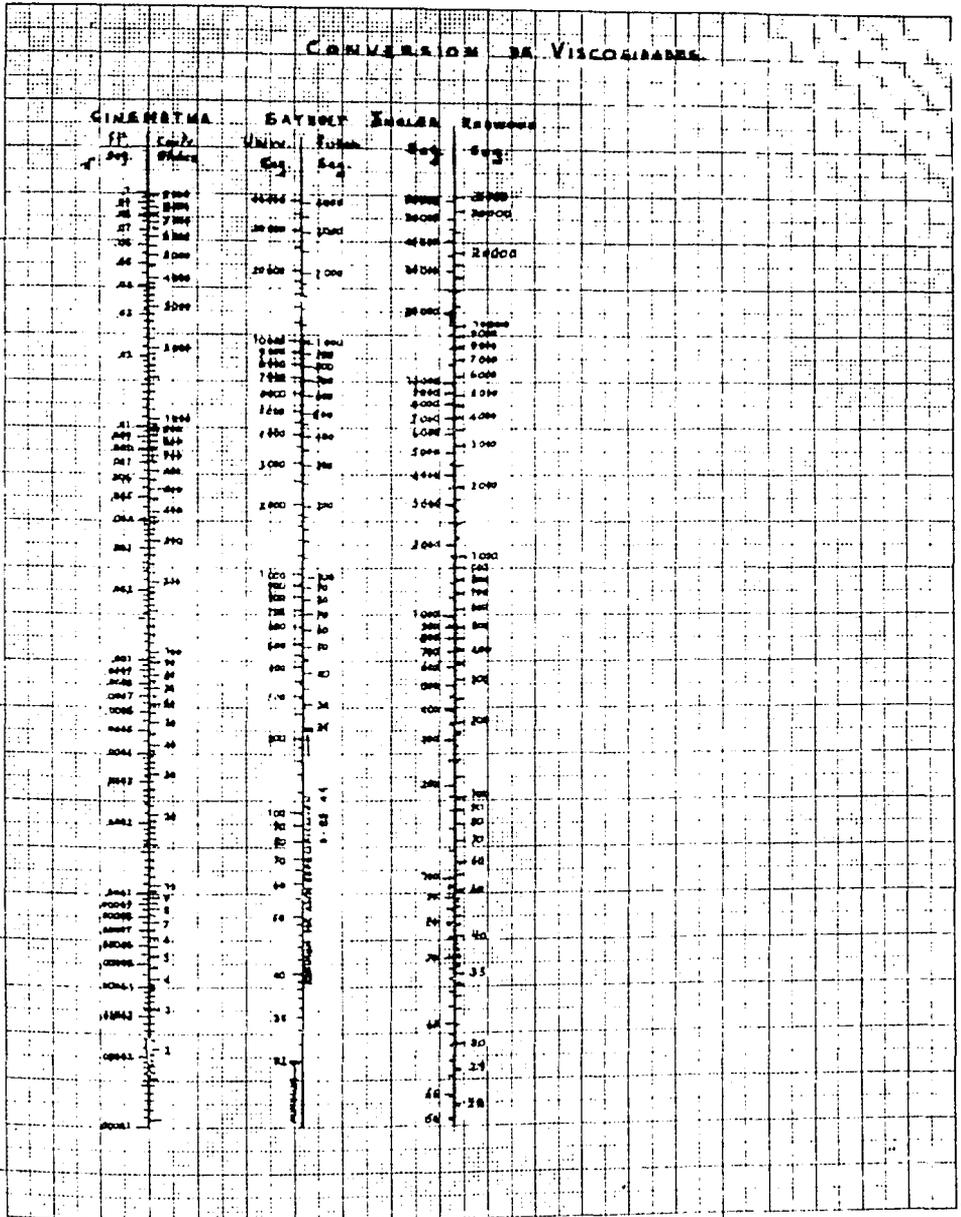
TEMPERATURE, DEGREES FAHRENHEIT

PRINTED IN U.S.A.



COPYRIGHT, 1988
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS
1915 RACE ST., PHILADELPHIA 3, PA.

CONVERSION DE VISCOSIMETROS



El punto de inflamación es variable y puede decirse que disminuye cuanto más residuo de cracking térmico tenga el combustible. Comúnmente oscila entre 70°C y 85°C.

Cabe recordar que la disminución del flash involucra un aumento en ligeros.

b).- CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR MEDIO PARA DIVERSAS CONDICIONES ATMOSFERICAS.

Este coeficiente de transmisión de calor "U" corresponde a la ecuación de Newton:

$$Q = U A \Delta t_m \log.$$

En donde:

Q: Calor cedido al exterior por el oleoducto - en BTU/lb.

U: Coeficiente total de transmisión de calor - en $\frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F}$

A: Superficie de transmisión de calor en ft^2 .

$\Delta t_m \log$: Diferencia media de temperatura logarítmica entre el combustible y el medio ambiente.

El valor de U para un punto determinado en el oleoducto es una constante si los valores de caudal, temperatura del aceite y temperatura ambiente son constantes. En la realidad es un gradiente a lo largo del oleoducto y para dos puntos a distancias diferentes, U tendrá valores distintos. Sin embargo, con fines prácticos calcularemos un valor de U llamado "U medio", que nos represente el promedio de los coeficientes locales a lo largo del oleoducto.

U medio lo calcularemos por un balance térmico considerando el enfriamiento conocido experimentalmente, que sufrió el aceite en su

trayecto por el oleoducto en condiciones atmosféricas que podríamos considerarlas como promedio para estos cálculos, (tomadas de los datos meteorológicos estadísticos), al igual que para un gas-
to fijo bombeado en el momento de tomar los diferentes datos neces-
sarios para este cálculo.

Es importante hacer notar que el valor de U medio está su-
jeto principalmente a las condiciones atmosféricas y puede conside-
rarse variable debido a los cambios continuos del tiempo.

El coeficiente de transmisión de calor medio es el que regis-
trará directa o indirectamente el criterio para la operación del o-
leoducto, ya que interviene en los calculos de todas las variables
principales.

De las ecuaciones:

$$Q = w c_{pm} \Delta t_1 \quad \text{donde } \Delta t_1 = (t_1 - t_f)$$

y

$$Q = U_m A \Delta t_m \log \quad \text{donde } \Delta t_m \log = \frac{(t_1 - t_a) - (t_f - t_a)}{2.3 \log \frac{(t_1 - t_a)}{(t_f - t_a)}}$$

Substituyendo Q y despejando el valor de U_m tenemos:

$$U_m = \frac{w c_{pm}}{A} (t_1 - t_f) \frac{2.3 \log \frac{(t_1 - t_a)}{(t_f - t_a)}}{(t_1 - t_a) - (t_f - t_a)}$$

Simplificando:

$$U_m = \frac{w c_{pm}}{A} 2.3 \log \frac{(t_1 - t_a)}{(t_f - t_a)}$$

En donde:

w : gas-
to bombeado por el oleoducto en lb/hr.

c_{pm} : calor específico medio del combustible en BTU/lb°F.

A : área de transmisión de calor en ft².

t_1 : temperatura inicial del combustible en °F.

t_f : temperatura final del combustible en °F.

t_a : temperatura ambiente media en °F.

U_m : coeficiente de transmisión de calor medio del Oleoducto en $\frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F}$

Para este cálculo tomaremos como base un gasto bombeado por el oleoducto de 1 lb/hr, una longitud de 1 ft de tubería y las condiciones existentes a las 13.00 hs del día 10. de julio de 1958:

$$t_1 = 88^\circ C = 190.4^\circ F.$$

$$t_a = 19^\circ C = 66.2^\circ F.$$

$$t_f = 23^\circ C = 73.4^\circ F.$$

Para obtener el valor del coeficiente de transmisión de calor medio, consideraremos un valor promedio aritmético del calor específico tomado de la densidad tipo a $20/4^\circ C = 0.97 \text{ g/cm}^3$ y haciendo la corrección por las temperaturas de entrada y salida del combustible en el oleoducto. El calor específico lo calcularemos mediante la gráfica de calor específico contra temperatura del Perry --- (Pag. 567), para lo que necesitamos la temperatura en grados F. y los grados API del combustible.

1.- Cálculo del calor específico medio.

$$(1): \text{Peso específico } 20/4^\circ C = 0.97 \text{ g/cm}^3.$$

$$\text{factor de corrección} = 0.00062 \text{ g/cm}^3/^\circ C.$$

$$(2): \text{Peso específico } 88^\circ C = 0.928 \text{ g/cm}^3.$$

$$\text{Peso específico } 23^\circ C = 0.968 \text{ g/cm}^3.$$

$$\text{Grados API} = \frac{141.5}{P. \text{ esp.}} - 131.5$$

$$\text{Grados API}(1) = \frac{141.5}{0.928} - 131.5 = 156.4 - 131.5 = 24.9$$

$$\text{Grados API}_{(1)} = 24.9$$

$$\text{Grados API}_{(2)} = \frac{141.5}{0.968} - 131.5 = 146.2 - 131.5 = 15.7$$

$$\text{Grados API}_{(2)} = 15.7$$

Con los datos anteriores se calcula el calor específico.

$$c_p(1) = 0.51$$

$$c_p(2) = 0.42$$

Tomando la media aritmética calcularemos el calor específico medio:

$$c_{pm} = \frac{0.51 + 0.42}{2} = 0.465$$

$$c_{pm} = 0.465 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot \text{F}}$$

2.- Cálculo del área de transmisión de calor.

$$A = \pi \times D \times L.$$

En donde:

A: área de transmisión de calor en ft².

D: diámetro de la tubería en ft.

L: longitud del tubo en ft.

$$D = 1 \text{ ft.}$$

$$L = 1 \text{ ft.}$$

$$A = 3.1416 \text{ ft}^2.$$

El coeficiente de transmisión de calor U será calculado tomando como base que pasa un flujo de 1 lb/hr. en una longitud del oleoducto de 1 ft.

3.- Cálculo de U_m.

$$U_m = \frac{w \text{ cpm}}{A} 2.3 \log \frac{(t_i - t_a)}{(t_f - t_a)}$$

$$U_m = \frac{1 \times 0.465}{3.1416} \times 2.3 \log \frac{(190.4 - 66.2)}{(73.4 - 66.2)}$$

$$U_m = \frac{0.465}{3.1416} \times 2.3 \log \frac{124.2}{7.2}$$

$$U_m = \frac{0.465}{3.1416} \times 2.3 \log 17.3$$

$$U_m = \frac{0.465}{3.1416} \times 2.3 \times 1.238$$

$$U_m = 0.44 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \times \text{ft}^2 \times \text{°F}}$$

El coeficiente medio de transmisión de calor es aplicable para las condiciones drásticas de bombeo de combustible pesado, pues las condiciones atmosféricas eran adversas al tomar los datos; es decir la temperatura ambiente existente era baja.

Variando las condiciones atmosféricas, se obtuvieron los siguientes datos:

A	B
$t_i = 88^\circ\text{C} = 190.4^\circ\text{F}$	$t_i = 88^\circ\text{C} = 190.4^\circ\text{F}$
$t_a = 22^\circ\text{C} = 71.6^\circ\text{F}$	$t_i = 24^\circ\text{C} = 75.2^\circ\text{F}$
$t_f = 27^\circ\text{C} = 80.6^\circ\text{F}$	$t_f = 32^\circ\text{C} = 89.6^\circ\text{F}$
$P. \text{ esp.} = 0.965 \text{ g./cm}^3$	

Cálculo de $c_{pm}(A)$.

Grados API = 24.9 $c_p = 0.51$

Grados API = 15.3 $c_p = 0.425$

$$c_{pm} = \frac{0.51 + 0.425}{2} = 0.468$$

$$c_{pm}(A) = 0.468 \frac{BTU}{lb \times ^\circ F}$$

Cálculo de $c_{pm}(B)$.

$$\text{Grados API} = 24.9 \quad c_p = 0.51$$

$$\text{Grados API} = 15.7 \quad c_p = 0.43 \quad P. \text{ esp.} = 0.962 \text{ g/cm}^3.$$

$$c_{pm}(B) = \frac{0.51 + 0.43}{2} = 0.47$$

$$c_{pm}(B) = 0.47 \frac{BTU}{lb \times ^\circ F}$$

El área de transmisión de calor será común para ambos cálculos y tendremos:

$$A = 3.1416 \text{ ft}^2.$$

Por lo tanto, calculando los dos valores de U_m tendremos:

$$U_A = \frac{1 \times 0.468}{3.1416} \times 2.3 \log \frac{190.4 - 71.6}{80.6 - 71.6}$$

$$U_B = \frac{1 \times 0.470}{3.1416} \times 2.3 \log \frac{190.4 - 75.2}{89.6 - 75.2}$$

$$U_A = 0.385 \frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F.}$$

$$U_B = 0.355 \frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F.}$$

El coeficiente de transmisión de calor depende fundamentalmente del gasto bombeado por el oleoducto y además, en gran parte, de las condiciones atmosféricas, pues cuando la temperatura baja, el valor del coeficiente U aumenta notablemente.

Para los cálculos posteriores se tomarán en cuenta las condiciones atmosféricas más adversas. Esto dará un porcentaje de seguridad para cualquier consideración que se tenga durante el -

bombeo, como p.j. tiempo de paro con el oleoducto lleno con combustible pesado sin soplado de línea, gasto mínimo permisible, etc..

c).- PERDIDA DE CALOR EN EL OLEODUCTO.

$$Q = U A \Delta t_{m \log} \qquad \Delta t_{m \log} = \frac{(t_1 - t_a) - (t_f - t_a)}{2.3 \log \frac{(t_1 - t_a)}{(t_f - t_a)}}$$

$$Q_1 = U_1 A \Delta t_{\log 1} \qquad U_1 = 0.440 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \times \text{ft}^2 \times \text{°F}}$$

$$Q_2 = U_2 A \Delta t_{\log 2} \qquad U_2 = 0.385$$

$$Q_3 = U_3 A \Delta t_{\log 3} \qquad U_3 = 0.355$$

$$A = 3.1416 \text{ ft}^2.$$

(1)

(2)

(3)

$$t_1 = 190.4 \text{ °F}$$

$$t_1 = 190.4 \text{ °F}$$

$$t_1 = 190.4 \text{ °F}$$

$$t_a = 66.2 \text{ °F}$$

$$t_a = 71.6 \text{ °F}$$

$$t_a = 75.2 \text{ °F}$$

$$t_f = 73.4 \text{ °F}$$

$$t_f = 80.6 \text{ °F}$$

$$t_f = 89.6 \text{ °F}$$

$$\Delta t_{\log 1} = \frac{(190.4 - 66.2) - (73.4 - 66.2)}{2.3 \log \frac{190.4 - 66.2}{73.4 - 66.2}} = \frac{117}{2.3 \log 17.3}$$

$$= \frac{117}{2.3 \log 1.237} = 41 \text{ °F}$$

$$\Delta t_{\log 1} = 41 \text{ °F}$$

$$\Delta t_{\log 2} = \frac{(190.4 - 71.6) - (80.6 - 71.6)}{2.3 \log \frac{190.4 - 71.6}{80.6 - 71.6}}$$

$$= \frac{109.8}{2.3 \log 13.2} = \frac{109.8}{2.3 \times 1.120} = 42.6$$

$$\Delta t_{\log 2} = 42.6^\circ \text{F}$$

$$\begin{aligned} \Delta t_{\log 3} &= \frac{(190.4 - 75.2) - (89.6 - 75.2)}{2.3 \log \frac{190.4 - 75.2}{89.6 - 75.2}} \\ &= \frac{100.8}{2.3 \log 10.54} = \frac{100.8}{2.3 \times 1.024} = 42.8 \end{aligned}$$

$$\Delta t_{\log 3} = 42.8^\circ \text{F}$$

Por consiguiente:

$$Q_1 = 0.440 \times 3.1416 \times 41 = 56.8 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q_2 = 0.385 \times 3.1416 \times 42.6 = 51.5 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q_3 = 0.355 \times 3.1416 \times 42.8 = 47.8 \text{ BTU/hr.}$$

Calculando la velocidad de transmisión de calor total (Q_T) a diferentes flujos tenemos:

$$Q_T = Q \times G \quad \text{en donde } G: \text{ flujo por el oleoducto en - lb/hr.}$$

G m ² /día	G lb/hr.	Q _{T1} $\frac{\text{BTU}}{\text{hr.}}$	Q _{T2}	Q _{T3}
200	17 256	980 140	888 655	824 837
400	34 512	196 281	1 777 368	1 649 674
600	51 767	2 940 365	2 666 000	2 474 462
800	69 023	3 920 506	3 554 685	3 299 299
1 000	86 279	4 900 647	4 443 388	4 124 136
2 000	172 558	9 801 294	8 886 737	8 248 272
3 000	258 837	14 701 942	13 330 105	12 372 408
3 500	301 977	17 152 294	15 551 815	14 434 500

d).- CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA.

Observando la importancia del cálculo del coeficiente medio de transmisión de calor, se verá también que el valor de la temperatura desempeña un papel primordial en normar el criterio para la ope-

ración del Oleoducto, pues interviene directamente en el cálculo de la viscosidad media, factor determinante en la caída de presión y - norma para evitar un desgaste innecesario del equipo.

Por definición, la temperatura media es la temperatura que existe en el seno del líquido que fluye por el Oleoducto, cuando ha recorrido una distancia igual a $L/2$.

La temperatura media se calcula mediante la fórmula:

$$t_m = t_a + \frac{t_1 - t_a}{e^{Kx}} \quad K = \frac{3.1416 D h}{c W}$$

En donde

t_m : temperatura media del combustible a una distancia x -- del extremo caliente en ° F.

t_a : temperatura del medio ambiente alrededor de la tubería en ° F.

t_1 : temperatura del combustible en el extremo caliente (entrada de la línea) en ° F.

x : distancia del punto considerado al extremo caliente en ft.

D : diámetro de la tubería del oleoducto en ft.

h : coeficiente medio de transmisión de calor en $\frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F}$

W : gasto bombeado por el oleoducto en lb/hr.

c : calor específico medio del combustible en $\frac{BTU}{lb \times ^\circ F}$

Transformando el valor de la constante K a unidades más comunes tenemos: para un gasto en bbl/día, D en pulgadas, x en metros y la temperatura en ° C:

$$K = \frac{0.131 h D}{Q d}$$

d : peso específico del combustible en g/cm^3 .

Como todos los datos son conocidos, podemos calcular fácilmente el valor de la temperatura media (t_m).

Por lo tanto tenemos:

$$Q = \frac{bb1}{día} \text{ (variable)}$$

$$D = 12 \text{ pulgadas.}$$

$$h = 0.44 \frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F}$$

$$d = 0.97 \text{ g/cm}^3.$$

$$x = 10 \ 500 \text{ m.}$$

e).- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.

En el inciso anterior se cita la importancia que tiene el cálculo y el valor de la temperatura media y cabe hacer notar que su valor está modulado por la influencia de la temperatura ambiente.

Por lo tanto podemos decir que el cambio de temperatura ambiente afecta directamente el valor de la resistencia que ofrece el combustible para su bombeo, al hacer variar el valor de la temperatura media y tener por lo tanto mayor o menor enfriamiento del combustible con su consecuente cambio de viscosidad.

Calculando la influencia de t_a para flujos variables tenemos:

$$x = 10 \ 500 \text{ m.}$$

$$D = 12 \text{ pulgadas.}$$

$$h = 0.44 \frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F.}$$

$$d = 0.97 \text{ g/cm}^3.$$

$$t_m = t_a + \frac{t_1 - t_a}{eKx}$$

En donde:

$$K = 0.131 \frac{h D}{Q d} = \frac{0.131 \times 0.44 \times 12}{0.97 Q} = \frac{0.712}{Q}$$

$$K' = \frac{0.712}{Q}$$

$$t_m = t_a - \frac{t_a}{e^{Kx}} + \frac{t_1}{e^{Kx}}$$

$$t_m = (1 - \frac{1}{e^{Kx}})t_a + \frac{t_1}{e^{Kx}}$$

$\frac{q}{d^5}$	K	Kx	e ^{Kx}	$\frac{1}{e^{Kx}}$	t _m
2500	0.000285	2.87	16.0	0.0624	0.9376t _a +0.0624t ₁
5000	0.000142	1.435	4.2	0.238	0.762 t _a +0.238 t ₁
7500	0.000095	0.956	2.595	0.385	0.615 t _a +0.385 t ₁
10000	0.0000712	0.718	2.050	0.488	0.512 t _a +0.488 t ₁
12500	0.000057	0.573	1.780	0.562	0.438 t _a +0.562 t ₁
15000	0.0000475	0.479	1.617	0.619	0.381 t _a +0.619 t ₁
20000	0.0000356	0.359	1.434	0.696	0.302 t _a +0.696 t ₁

Para una temperatura ambiente de 18°C y una temperatura del combustible a la entrada al extremo caliente de 85°C, tenemos para flujos variables:

q bbl/día	t _m °C	t _m °F	Visc. seg. S.U.	Visc. centistokes.
2 500	22.2	72.0	14 000	3 100
5 000	34.1	93.4	4 500	975
7 500	43.8	110.9	2 150	460
10 000	50.7	123.3	1 700	370
12 500	55.7	132.3	950	210
15 000	59.3	138.7	850	185
20 000	64.6	148.3	575	125

Para observar la variación de la viscosidad, se tomó como base un combustible de 1 500 seg. de V.S.U. a 122°F (combustible ligero).

Como se puede apreciar, para flujos pequeños, el valor de la temperatura ambiente representa un alto porcentaje en el valor de la temperatura media por lo tanto la resistencia al bombeo o caída

de presión es demasiado grande, sucediendo lo inverso para flujos grandes, donde la temperatura inicial desempeña un papel importante en el valor de la temperatura media.

Para condiciones de bombeo muy desfavorables en lo que respecta al medio ambiente, es decir, en caso de lluvias, el porcentaje de influencia de la temperatura ambiente en el valor de la temperatura media aumenta considerablemente, pues el agua de lluvias actúa como enfriador del oleoducto, sobre todo en aquellas partes donde el terreno es muy poroso y en los lugares donde el oleoducto se encuentra al descubierto.

f).- CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION.

Todos los cálculos y consideraciones anteriores son propiamente preámbulo para el cálculo de los factores que rigen el criterio para la operación del Oleoducto y que representan factores decisivos para el manejo de los dos tipos de combustible de que se dispone. Uno de estos factores decisivos es la caída de presión, ya que prácticamente de ella dependen el desplazamiento del combustible ligero al iniciarse un nuevo ciclo de bombeo y el tiempo de paro permitido en el oleoducto lleno con combustible pesado; ambos cálculos están íntimamente ligados a las variables anteriores y a la caída de presión.

El cálculo que se hará servirá como base para los cálculos siguientes y será para las condiciones del bombeo inicial donde tenemos que:

$$Q = 2\ 220\ m^3/día = 13\ 850\ bbl/día \quad (\text{Leído en la gráfica de flujo del Oleoducto})$$

$$D = 12\ in.$$

$$h = 0.44\ BTU/hr \times ft^2 \times F.$$

$$d = 0.97\ g./cm^3.$$

$$x = 10\ 500\ \text{m.}$$

$$t_1 = 82^\circ\text{C.}$$

$$t_a = 18^\circ\text{C.}$$

Q : gasto bombeado por el oleoducto

D : diámetro del oleoducto.

h : coeficiente medio de transmisión de calor.

d : peso específico del combustible.

x : distancia media del oleoducto.

t_1 : temperatura inicial del combustible a la entrada del extremo caliente.

t_a : temperatura del medio ambiente.

La secuencia que se seguirá para el cálculo de la caída de presión será:

- 1) Cálculo de la temperatura media.
- 2) Cálculo de la viscosidad a esta temperatura media.
- 3) Cálculo del número de Reynolds medio (Re).
- 4) Cálculo de la pendiente hidráulica ($\frac{lw_f}{L}$)
- 5) Cálculo de la caída de presión.

1.- Cálculo de la temperatura media.

$$t_m = t_a + \frac{t_1 - t_a}{e^{Kx}} \quad \text{donde: } K = \frac{0.131\ h\ D}{Q\ d}$$

$$K = \frac{0.131 \times 0.44 \times 12}{1.7\ 850 \times 0.97} = 0.0000485$$

$$Kx = 0.0000485 \times 10\ 500 = 0.51$$

$$e^{Kx} = 1.63$$

Por consiguiente:

$$x = 10\ 500\ \text{m.}$$

$$t_1 = 82^\circ\text{C.}$$

$$t_a = 18^\circ\text{C.}$$

Q : gasto bombeado por el oleoducto.

D : diámetro del oleoducto.

h : coeficiente medio de transmisión de calor.

d : peso específico del combustible.

x : distancia media del oleoducto.

t_1 : temperatura inicial del combustible a la entrada del extremo caliente.

t_a : temperatura del medio ambiente.

La secuencia que se seguirá para el cálculo de la caída de presión será:

- 1) Cálculo de la temperatura media.
- 2) Cálculo de la viscosidad a esta temperatura media.
- 3) Cálculo del número de Reynolds medio (Re).
- 4) Cálculo de la pendiente hidráulica ($\frac{17c}{L}$)
- 5) Cálculo de la caída de presión.

1.- Cálculo de la temperatura media.

$$t_m = t_a + \frac{t_1 - t_a}{e^{Kx}} \quad \text{donde: } K = \frac{0.131\ h\ D}{Q\ d}$$

$$K = \frac{0.131 \times 0.44 \times 12}{17\ 850 \times 0.97} = 0.000485$$

$$Kx = 0.000485 \times 10\ 500 = 0.51$$

$$e^{Kx} = 1.63$$

Por consiguiente:

$$t_m = 18 + \frac{82 - 18}{1.63} = 18 + \frac{64}{1.63} = 18 + 39.2$$

$$t_m = 57.2^\circ\text{C} = 135^\circ\text{F.}$$

2.- Cálculo de la viscosidad a la temperatura media de 135°F.

Para este cálculo tomaremos en cuenta la curva para combustibles pesados de la gráfica citada al principio de este capítulo, que como se recordará es tipo para combustibles de la Refinería "18 de Marzo" y la tabla de conversión de viscosidad que también se encuentra en el inciso de características del combustible bombeado por el Oleoducto.

$$\text{Viscosidad media} = 2\ 800 \text{ seg. S. U.}$$

$$= 620 \text{ centistokes.}$$

$$\text{Visc. media} = 620 \text{ centistokes.}$$

3.- Cálculo del número de Reynolds medio.

El número de Reynolds medio es un factor determinante que interviene directamente en el cálculo del coeficiente de fricción "f" que a su vez sirve para calcular la pendiente hidráulica. El número de Reynolds es un indicador de los diferentes tipos de flujo que se pueden presentar, como son el turbulento y el laminar, y de este factor dependen el tipo de ecuaciones que se empleen para el cálculo de la caída de presión.

El número de Reynolds medio se calcula con todos los datos anteriores y con la fórmula:

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

En donde: D: diámetro del oleoducto en ft.

v: velocidad del fluido, obtenida a partir del -

gasto bombeado en ft/seg.

ρ : peso específico del combustible en lb/ft³.

μ : viscosidad media del combustible en lb/ft x seg

Calculando v tenemos:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{\text{gasto en ft}^3/\text{seg}}{\text{Area de la sección transversal en ft}^2}$$

$$Q = 2\ 220\ \text{m}^3/\text{día} = 13\ 850\ \text{bbl}/\text{día} = 0.90\ \text{ft}^3/\text{seg.}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785 D^2 = 0.785 \times (1)^2 = 0.785\ \text{ft}^2.$$

$$v = \frac{0.90}{0.785} = 1.145 \quad v = 1.145\ \text{ft}/\text{seg.}$$

Por consiguiente:

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} = 1 \times 1.145 \times 0.97 \times 62.4 \times \frac{1}{620 \times 0.000672}$$

$$Re = 112$$

4.- Cálculo de la pendiente hidráulica: $\left(\frac{lw_f}{L}\right)$

La pendiente hidráulica es una expresión que nos da la resistencia al paso del fluido por cada 100 m. de tubería. Depende fundamentalmente de las características del oleoducto y de la velocidad del fluido. Su fórmula es:

$$\left(\frac{lw_f}{L}\right) = \frac{f \times v^2 \times 100}{2 g_c D}$$

En donde:

f : coeficiente de fricción.

v : velocidad del combustible en ft/seg.

g_c : aceleración de la gravedad = 32.2 ft/seg²

D : diámetro del oleoducto en ft.

Calculamos f para flujo laminar:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{112} = 0.572$$

$$f = 0.572$$

$$\left(\frac{1 \cdot w \cdot f}{L}\right) = \frac{0.572 \times (1.145)^2 \times 100}{64.4 \times 1} = \frac{0.572 \times 1.32 \times 100}{64.4}$$

$$= 1.170$$

$$\left(\frac{1 \cdot w \cdot f}{L}\right) = \frac{1.170 \text{ m.}}{100 \text{ m.}}$$

5.- Cálculo de la caída de presión.

$$\Delta P = \left(\frac{1 \cdot w \cdot f}{L}\right) \times d \times L$$

En donde:

ΔP : presión necesaria a la entrada de la línea.

d : peso específico en Kg/cm^3 .

L : longitud del oleoducto en cm. (Se toma la centésima parte de la longitud del oleoducto, dado que la pendiente hidráulica está tomada por cada 100 m. - del oleoducto)

$$d = \frac{0.97}{1000} \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^3}$$

$$L = 21\ 000 \text{ cm.}$$

$$\Delta P = 1.17 \times \frac{0.97}{1000} \times 21\ 000 = 24.0$$

$$P = 24 \text{ Kg}/\text{cm}^2.$$

g).- Cálculo del desplazamiento del combustible ligero.

El desplazamiento del combustible ligero existente en el oleo

ducto después de cada ciclo de bombeo, se lleva a cabo al empezar el nuevo período y debe efectuarse siempre con combustible de baja viscosidad o en caso de alguna emergencia, con cualquier otro combustible más ligero que el anterior.

El cálculo del desplazamiento será similar al de la caída de presión, únicamente que irá variándose el gasto bombeado y por consecuencia la velocidad.

El área de la sección transversal será fijada al igual que la temperatura media, que tomará el valor de la temperatura ambiente, ya que el intervalo entre cada ciclo de bombeo, aunque es variable siempre se lleva a cabo en lapsos de tiempo que van desde un mes - hasta tres meses, pues el consumo de la Planta Termoeléctrica de Lechería es muy variable.

Por lo tanto tenemos:

$$D \cong 1 \text{ ft.}$$

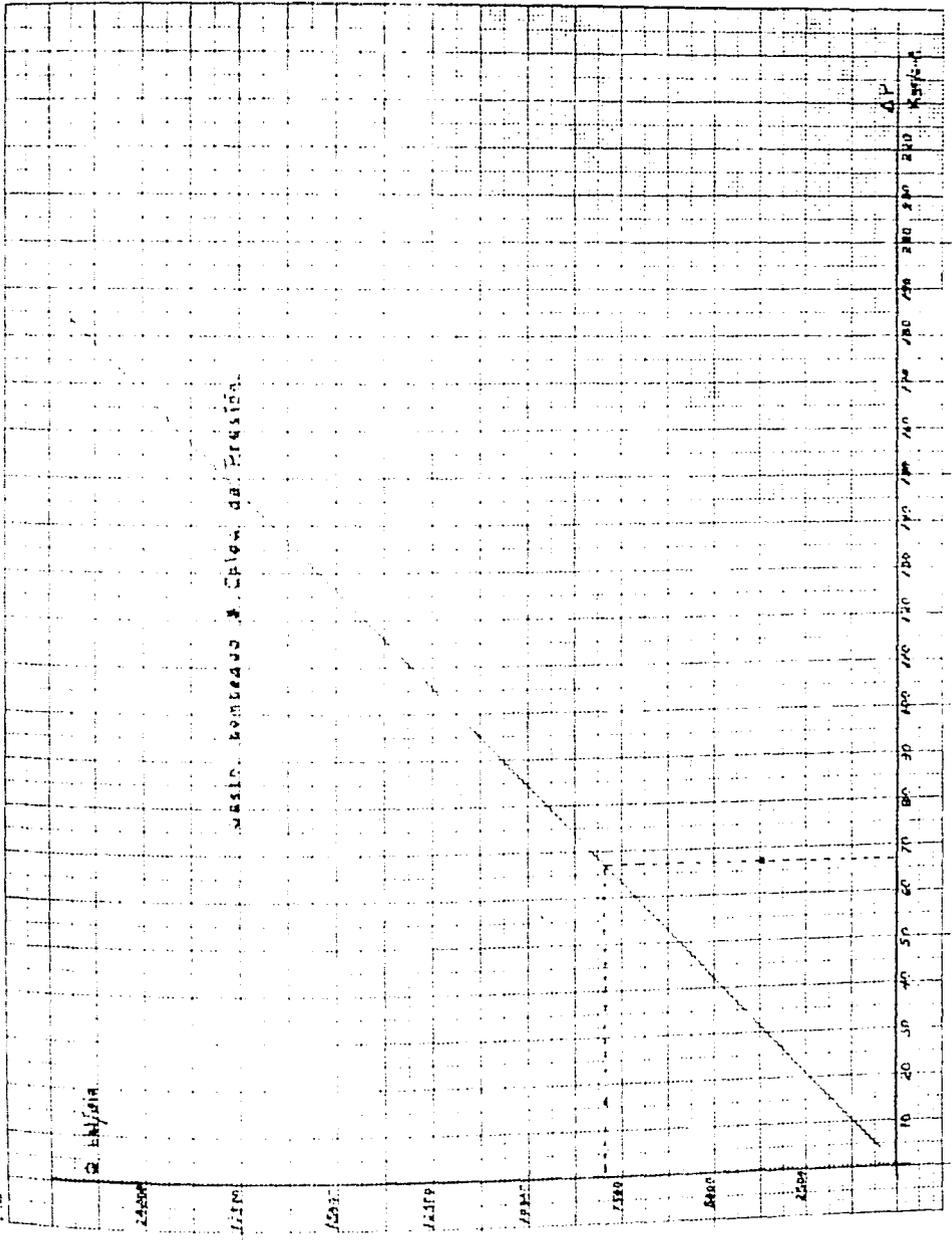
$$\rho = 0.97 \times 62.3 = 60.6 \text{ lb/ft}^3.$$

$$L = 21\,000 \text{ m.}$$

$$A = 0.785 \text{ ft}^2.$$

$$t_m = 18^\circ \text{ C} = 64.4^\circ \text{ F.}$$

Q	Q	v	t _m	Visc.	Visc.	Re	f	($\frac{Lwf}{L}$)	P
bbl/día	ft ³ /seg	ft/seg	°C	seg SU	centi stokes			ms/ms.	Kg/cm ²
2500	0.163	0.207	18	21500	4550	4.1	15.6	1.035	21.2
5000	0.325	0.414	18	21500	4550	8.2	7.8	2.070	42.2
7500	0.488	0.622	18	21500	4550	12.4	5.16	3.10	62.3
10000	0.650	0.830	18	21500	4550	16.5	3.87	4.14	84.2
12500	0.814	1.040	18	21500	4550	20.6	3.10	5.2	106.0
15000	0.973	1.240	18	21500	4550	24.6	2.6	6.24	127.0
20000	1.300	1.650	18	21500	4550	32.7	1.96	8.25	168.0



La presión disponible del equipo es de 950 lb/in², equivalente a 67 Kg/cm²; por lo tanto, teóricamente se lee en la gráfica adjunta que el flujo máximo que se podría alcanzar para desplazar el combustible ligero de la línea sería de 7 875 bbl/día; pero en la práctica se ha visto que no sucede así.

Como se explica en el capítulo siguiente, el flujo va aumentando poco a poco con la presión máxima en la cabecera del oleoducto. En tanto se mejoran las condiciones de bombeo, la caída de presión va disminuyendo y va aumentando el flujo.

h).- TIEMPO DE PARO PERMITIDO CON LA LINEA LLENA CON COMBUSTIBLE PESADO.

Para calcular el tiempo de paro permitido con la línea llena con combustible pesado y volver a reanudar el mismo bombeo con dicho combustible, tenemos que considerar que el fluido caliente tiene una temperatura uniforme a lo largo de la tubería y se le deja enfriar en virtud de la diferencia de temperatura entre el combustible y el medio ambiente.

Si consideramos (dQ) la cantidad de calor disipada al variar la temperatura en un incremento infinitamente pequeño ($-dt$); si (w) es el peso total del combustible en la tubería y (c) su calor específico, tenemos que:

$$dQ = - c w dt$$

Además si (dQ) es la cantidad de calor transmitida del combustible al terreno, en un tiempo infinitamente pequeño (dT) y si (t_x) es la temperatura en un instante cualquiera del combustible y (t_a) la temperatura del medio ambiente tenemos:

$$dQ = K (t_x - t_a) dT$$

En donde K tiene el mismo valor que en el cálculo de la tempe-

ratura media.

Como ambas cantidades de calor son iguales, tenemos que:

$$- c w \Delta t = K (t_x - t_a) \Delta T$$

Integrando y haciendo variar t_x de t_1 a t_f obtenemos:

$$T = - \frac{cw}{K} \ln \frac{t_f - t_a}{t_1 - t_a}$$

donde:

T : tiempo transcurrido en enfriarse el combustible de t_1 a t_f en horas.

t_1 : temperatura del combustible al iniciarse el intervalo T en °C.

t_f : temperatura del combustible al terminar el intervalo T en °C.

c : calor específico medio del combustible en $\frac{BTU}{lb \times ^\circ F}$

w : peso total del combustible en la tubería en libras.

K = DLh (visto en el cálculo de la temperatura media).

$$\text{Si: } A = \frac{c w}{K} = \frac{c D d}{4 h}$$

donde:

D : diámetro en pies.

d : peso específico en lb/ft³.

h : coeficiente de transmisión de calor en $\frac{BTU}{hr \times ft^2 \times ^\circ F}$

Por consiguiente:

$$T = - A \ln \frac{t_f - t_a}{t_1 - t_a}$$

De la ecuación anterior, se grafica el tiempo en horas que ta da en enfriarse el combustible contra la temperatura final del flujo da después del tiempo transcurrido. (t_f) será la temperatura que da

rá la viscosidad del combustóleo con que se pueda reanudar el bombeo con la pendiente hidráulica disponible.

Por lo tanto:

$$\text{Presión disponible} = 950 \text{ lb/in}^2 = 67 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$\therefore \text{Pendiente hidráulica} \quad \frac{3.27 \text{ m.}}{100 \text{ m.}}$$

1.- Cálculo de la viscosidad (μ) del combustible para poder reanudar el bombeo con un gasto de 10 000 bbl/día con la pendiente hidráulica de $\frac{3.27 \text{ m.}}{100 \text{ m.}}$

$$Q = 10\,000 \text{ bbl/día} = 0.65 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$L = 21\,000 \text{ m.}$$

$$A = 0.785 \text{ ft}^2.$$

$$\rho = 0.97 \text{ g/cm}^3.$$

$$\text{velocidad} = \frac{0.65}{0.785} = 0.83 \text{ ft/seg.}$$

$$v = 0.83 \text{ ft/seg.}$$

Por consiguiente:

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} = 1 \times 0.83 \times 0.97 \times 62.3 \times \frac{1}{\mu}$$

$$Re \mu = 50.2$$

Si:

$$\left(\frac{L v_f}{L}\right) = 3.27$$

y

$$\left(\frac{L v_f}{L}\right) = \frac{f v^2}{2 g_c D}$$

$$\frac{f v^2}{2 g_c D} = 3.27$$

$$\frac{f \times (0.69)^f}{64.3 \times 1} \times 100 = 3.27$$

$$f = \frac{3.27 \times 64.3}{(0.69)^f \times 100} = \frac{3.27 \times 64.3}{0.69 \times 100} = 3.055$$

$$f = 3.055$$

$$f = \frac{64}{re}$$

$$re = \frac{64}{f} = \frac{64}{3.055} = 20.95$$

$$\therefore K = \frac{50.2}{20.95} = 2.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft} \times \text{seg.}}$$

$$K = \frac{2.4}{0.000079} = 30500 \text{ centistokes.}$$

$$\therefore K = 16300 \text{ segundos S. U.}$$

2.- Cálculo de T para diferentes valores de t_f .

Si:

$$t_i = 80^\circ \text{C.}$$

$$t_a = 18^\circ \text{C}$$

$$D = 12'' = 1 \text{ ft.}$$

$$d = 0.97 \text{ g./cm}^3 = 60.4 \text{ lb/ft}^3.$$

y

$$c = 0.465 \text{ BTU/lb} \times ^\circ \text{F.}$$

$$h = 0.44 \text{ BTU/hr} \times \text{ft}^2 \times ^\circ \text{F.}$$

(Latos tomados del cálculo del coeficiente medio de transmisión de calor).

Por consiguiente:

$$A = \frac{c D d}{4 h} = \frac{0.465 \times 1 \times 60.4}{4 \times 0.44} = 15.8$$

$$\therefore T = -15.8 \ln \frac{t_f - t_a}{t_i - t_a} \qquad \frac{t_f - t_a}{t_i - t_a} = E$$

t_f °C.	$t_f - t_a$ °C.	$t_1 - t_a$ °C.	B	ln B	T hr.
70	52	62	0.846	-0.167	2.64
60	42	62	0.678	-0.385	6.08
50	32	62	0.516	-0.661	10.5
40	22	62	0.355	-1.036	16.4
30	12	62	0.194	-1.646	26.1
20	2	62	0.0325	-3.432	54.1

En la gráfica Temperatura - Viscosidad, se tiene para la viscosidad de 16 300 seg. S.U. la temperatura de 95 °F (tomando como base 122 °F para un combustible de 5 000 seg. S.U. de viscosidad).

El tiempo de paro se calcula mediante la gráfica T- t_f y es el tiempo que tarda en enfriarse la línea de 118.8°F (48.8°C) a 95°F (35°C).

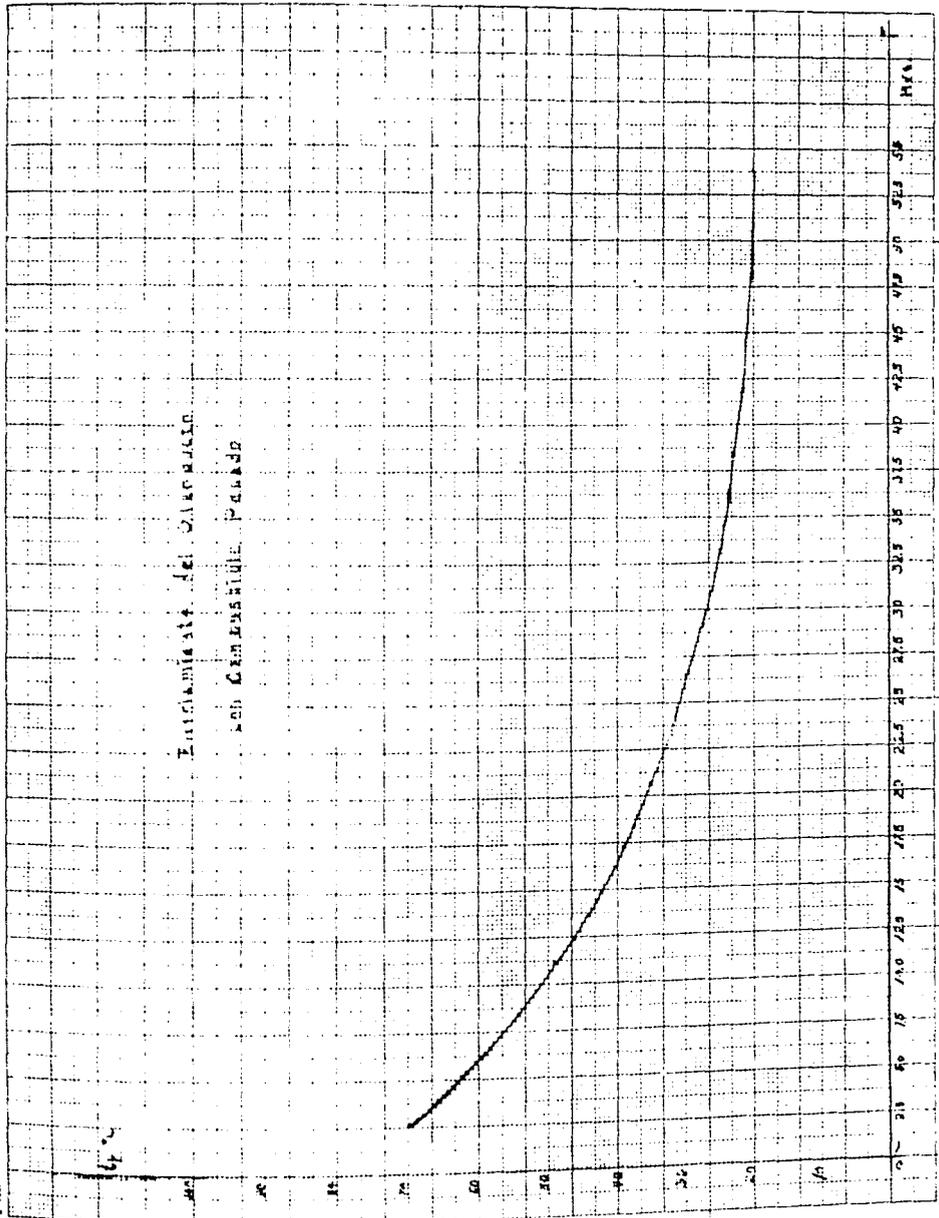
t_1 (118.8°F), es la temperatura media para un gasto de 10 000 bbl/día, una temperatura inicial del combustible de 80°C y una temperatura ambiente de 18°C.

Tiempo de paro = 9.5 hr.

El cálculo anterior es puramente teórico y no se ha probado - prácticamente, ya que sería aventurado el hacerlo. Se ha visto que no se puede levantar el el flujo a 10 000 bbl/día con combustible - pesado rápidamente al enfriarse la línea.

Intensitatea del. caracterului
sub Comparațiile. Paralele

27



100

CAPITULO IV.

SUMARIO.

DATOS DIRECTOS DE OPERACION DEL OLEODUCTO.

- a) Eliminación del agua.
- b) Operación inicial.
- c) Segundo bombeo.
- d) Tercer bombeo.
- e) Cuarto bombeo.

la línea se registraron las siguientes variables:

En la Refinería "18 de Marzo":	Temperatura	86 ° C.
	Presión	45.5 Kg/cm ² .
	Flujo	1 820 m ³ /día.
En la 1a. válvula. (Instalada a 5 Km de la Ref. "18 de Marzo":	Presión	43 Kg/cm ² .
	Temperatura	50 ° C.
En la 2a. válvula. (Instalada a 10 Km de la Refinería):	Presión	35 Kg/cm ² .
	Temperatura	40 ° C.
En la 3a. válvula. (Instalada a 15 Km de la Refinería):	Presión	20 Kg/cm ² .
	Temperatura	25 ° C.
En la Planta Termoeléctrica:	Presión	atmosférica.
	Temperatura	25 ° C.

Nota: La cantidad de gasóleo empleada en la cabeza fué de --
160 m³.

Bombeo Inicial

1-VII-58.

Hs. de bombeo	Presión Kg/cm ²	Flujo m ³ /día	Temp. Inicial °C.
0	-	-	25
2	6	2 600	85
4	9	2 600	85
6	17	2 600	85
8	22	2 600	86

llevó a cabo hasta principiar el primer bombeo, pues sirvió de punta al fluido y la línea se purgó en la Planta Termoeléctrica antes de entrar a los tanques de almacenamiento.

b).- OPERACION INICIAL.

Después de la eliminación parcial del agua con la que se probó el Oleoducto, el bombeo inicial se llevó a cabo con una cabeza de gasoleo que sirvió para arrastrar toda el agua que había remanente y además todas las posibles impurezas que contenía la línea, consistentes en óxidos, escoria y tierra que quedó dentro durante la construcción del Oleoducto.

La eliminación del agua se llevó a cabo con gasoleo que sirvió para evitar una explosión brusca al introducir posteriormente el combustóleo, el cual habría originado una ruptura en la línea - al expanderse por el cambio brusco de temperatura al entrar en contacto con el agua (formación de gran cantidad de espuma con aumento considerable de volumen y formación de vapor de agua). El gasoleo sirvió además para quitar la soldadura, óxidos y tierra, ya -- que con el combustóleo habría sido más difícil, por aumentar notablemente las pérdidas por fricción, presentándose mayor resistencia al paso del fluido. Esto originaría mayor pérdida de presión y por consiguiente, dificultad en el bombeo por descenso directo de la temperatura.

En este primer bombeo se probó el equipo (bombas) con que se contaba, tanto de diseño como auxiliar, pues durante el curso de - dicho bombeo se hicieron las siguientes pruebas, con las que se definió el flujo mínimo para las condiciones existentes que eran más o menos 18° C y tiempo lluvioso, el cual desfavorece el bombeo por actuar como enfriador a la línea, debido a las filtraciones en el

terreno y que en algunas partes se encuentra descubierta, cosa que hace un poco elástico el cálculo del coeficiente de transmisión de calor.

Se inició el bombeo con una bomba E.J.F. 36, la cual se fué calentando poco a poco con una bomba del equipo auxiliar, después de haber metido la cabeza de gasóleo. Una vez caliente se conectó tomando una carga de 27 Amp. La temperatura inicial del bombeo -- fué de 86° C. La presión fué subiendo poco a poco a medida que -- fué aumentando el flujo; la temperatura se mantuvo más o menos --- constante.

El agua que había quedado, la cual había arrastrado parte de óxidos, tierra, etc., se purgó en la Planta Termoeléctrica antes -- de la entrada a los tanques y no se abrieron las válvulas de di--- chos tanques hasta que se vió franca salida de gasóleo.

Una vez lleno el Oleoducto, la presión permaneció más o menos en 45 Kg/cm² y el flujo fué subiendo hasta llegar a más de 10 L.M. (por diferencia de nivel del tanque se sacó que el gasto era de -- 3 200 m³/día, flujo máximo alcanzado con las dos bombas en serie).

A medida que se fué abatiendo la caída de temperatura se disminuyó la caída de presión, hasta tener una presión de más o menos 20 Kg/cm² en la descarga de las bombas.

En este primer bombeo se experimentó el no bombear combusti-- ble ligero para lavar la línea, sino que en su lugar se sopló ésta en la parte más alta del terreno que corresponde al poblado de Ba-- rrientos. Se sopló durante tres horas hacia la Plantá Termoelé-- trica y durante cinco horas a la Refinería "18 de Marzo", recogién-- dose alrededor de 500 m³ de combustóleo; o sea que la línea quedó parcialmente llena con dicho combustóleo pesado.

Como un dato de referencia, durante el tiempo de llenado de --

la línea se registraron las siguientes variables:

En la Refinería "18 de Marzo":	Temperatura	86 ° C.
	Presión	45.5 Kg/cm ² .
	Flujo	1 820 m ³ /día.
En la 1a. válvula. (Instalada a 5 Km de la Ref. "18 de Marzo":	Presión	43 Kg/cm ² .
	Temperatura	50 ° C.
En la 2a. válvula. (Instalada a 10 Km de la Refinería):	Presión	35 Kg/cm ² .
	Temperatura	40 ° C.
En la 3a. válvula. (Instalada a 15 Km de la Refinería):	Presión	20 Kg/cm ² .
	Temperature	25 ° C.
En la Planta Termoeléctrica:	Presión	atmosférica.
	Temperatura	25 ° C.

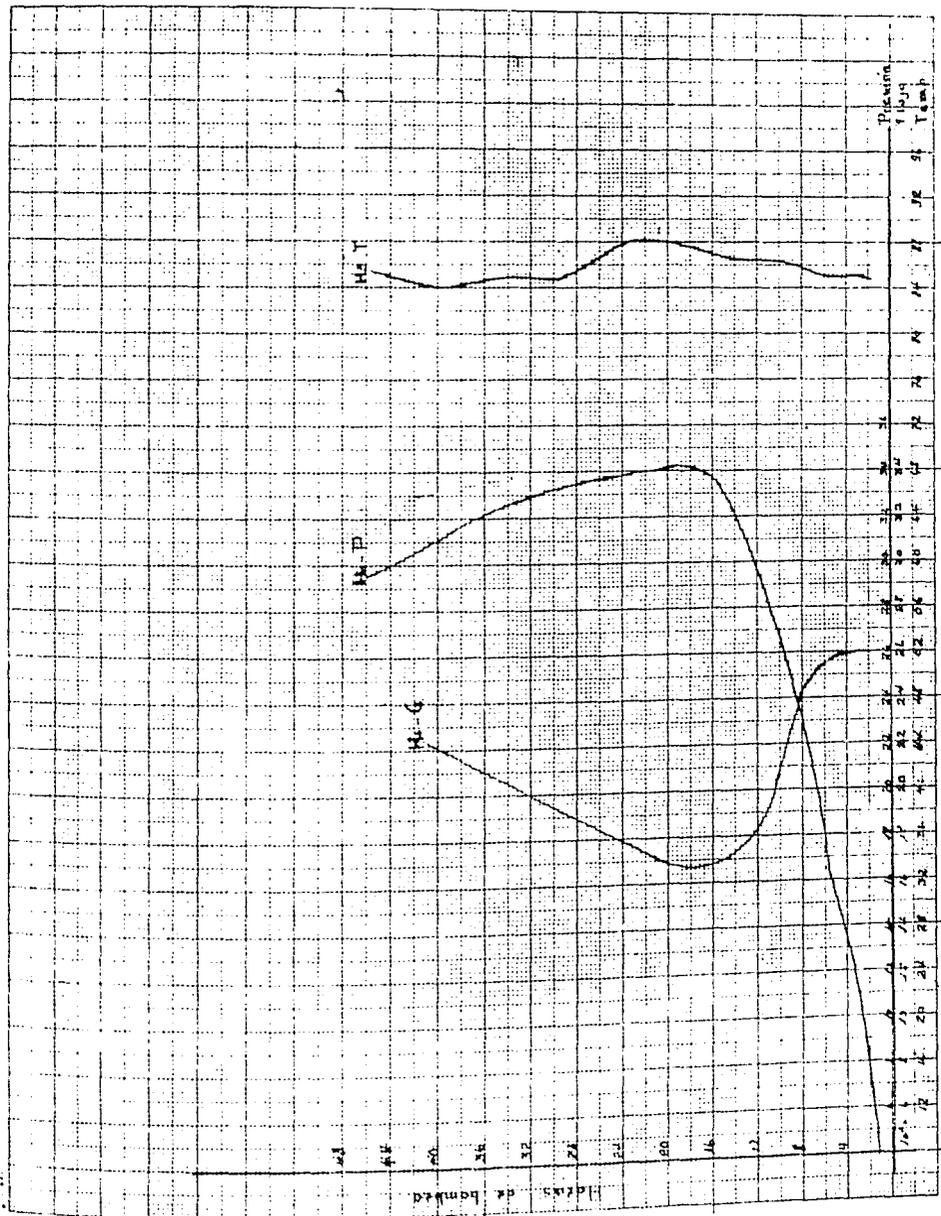
Nota: La cantidad de gasóleo empleada en la cabeza fué de --
160 m³.

Bombeo Inicial

1-VII-58.

Hs. de bombeo	Presión Kg/cm ²	Flujo m ³ /día	Temp. Inicial °C.
0	-	-	25
2	6	2 600	85
4	9	2 600	85
6	17	2 600	85
8	22	2 600	86

12	18	1 825	83
16	34	1 670	87
20	34	1 715	88
24	34	1 865	88
28	33	1 970	85
32	32	2 060	85
36	32	2 120	79
40	31	2 210	84
44	30	3 060	85



c).- SEGUNDO BOMBEO.

El bombeo se inició con una cabeza de kerosina, que se supuso serviría de diluyente para abatir la viscosidad del combustóleo existente dentro del Oleoducto y así disminuir la resistencia al paso del fluido, para evitar el empleo de combustóleo ligero al iniciar el bombeo; pero fué en vano debido a que al meterse el combustóleo pesado, el flujo no se pudo levantar a más de 1.5 L.M. (360 m³/día) y la presión fué subiendo a tal grado, que llegó a condiciones que se pueden considerar como críticas para el Oleoducto, pues subió hasta 60 Kg/cm² a la descarga de las bombas, siendo notable la caída registrada a cada válvula. La temperatura a la descarga de las bombas varió entre 83 °C y 90 °C.

Al observarse que el gasto no subía, se probó aumentar la temperatura del combustible hasta llegar a 180 °C - 190 °C, bombeando directamente el combustible caliente directamente de las plantas a la succión de las bombas y balanceando con la entrada de un tanque abierto. Aquí fue donde se llegó a las condiciones críticas. Duran 48 hs. se observó el mismo fenómeno anterior, es decir, una notable caída de presión a la primera válvula y lo más sorprendente era el descenso (Δt) de temperatura registrada que varió de 25 °C a 70 °C, lo cual equivale a $\Delta t = \frac{1}{2} 150$ °C. En estas pruebas se empleó todo el aceite de bombeo disponible, tanto de diseño como auxiliar, trabajando todo en serie.

El primer período de bombeo o sea cuando se bombeó combustible pasado a 190 °C fue de aproximadamente 70 hs., sin notarse cambio en el flujo, pero sí un aumento considerable en la presión como se dijo anteriormente.

Para las condiciones anteriores de flujo, caída de presión, -

diferencia de temperatura a la entrada y salida del combustible y viscosidad de dicho combustible, se determinó que el flujo era laminar por el valor del número de Reynolds. Se pensó entonces que se había formado una capa cilíndrica de combustible frío y que por consiguiente el diámetro del tubo por donde fluía el combustible se había reducido considerablemente, por lo que se optó por bombear combustible ligero (125" V.S.F. a 50°C) y caliente (\pm 90°C-95°C) que disminuiría ΔP y Δt y aumentaría el gasto. Purgando y tomando muestra en cada una de las válvulas se determinaría viscosidad y se vería si en efecto, el diámetro de la tubería se encontraba reducido y sólo permitía el paso de poco gasto. El resultado obtenido fué un flujo turbulento, que fué diluyendo el combustible pesado desalojándolo hacia la Planta Termoeléctrica. A medida que aumentaba la cantidad de combustible ligero bombeado, ΔP fué disminuyendo, al igual que el gradiente de temperatura; ambas cosas iban acompañadas de un aumento gradual del flujo, el cual subió poco a poco hasta tener bombeado más o menos el cupo del Oleoducto de combustible ligero. Después, el aumento de flujo fué más rápido y se volvió a hacer cambio a combustible pesado cuando se aseguró un flujo mayor de 10-L.M. y una presión de \pm 45 Kg/cm², obteniéndose un flujo normal de más de 10.0 L.M., que poco a poco fué abatiendo la caída de presión y Δt .

Para terminar el bombeo, se volvió a bombear combustible ligero en cantidad calculada para dejar lleno el Oleoducto y posteriormente se sopló hacia la Planta Termoeléctrica y hacia la Refinería, habiéndose recuperado 700 m³ que prácticamente quedaban de vacío en el Oleoducto.

El vaciado de la línea por soplado, disminuye notablemente la resistencia al flujo y como se ha visto, es un factor de carácter económico muy importante.

Segundo Bombeo.

10-VII-58.

Hs. de bombeo	Presión Kg/cm ²	Flujo m ³ /día.	Temp. Inicial°C.
--	4	--	28
2	50	330	89.5
4	50	330	90

11-VII-58.

6	50	308	88
8	50	308	88.4
10	50	264	88.2
16	50.2	110	90
22	60	396	91
28	58.3	330	130

12-VII-58.

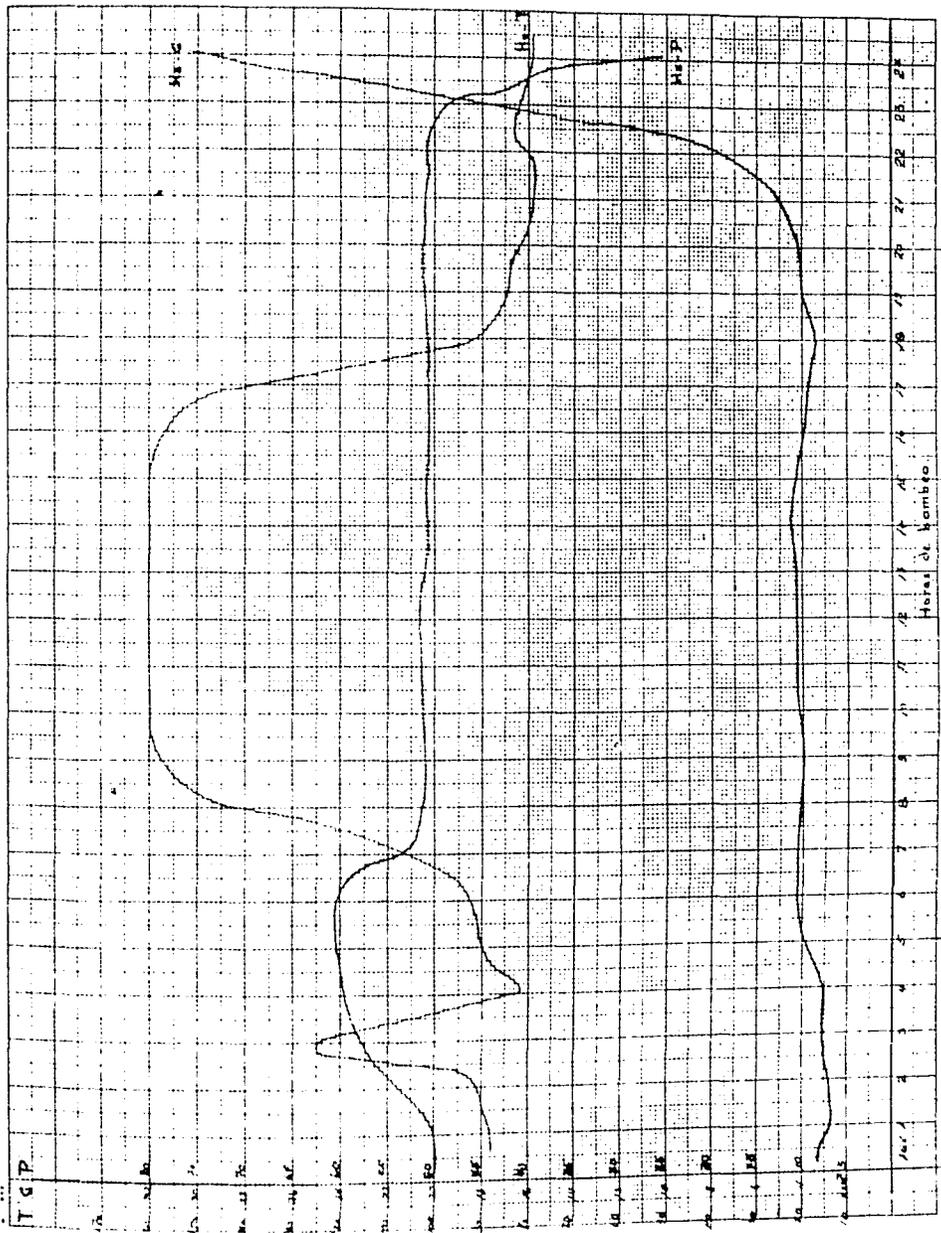
34	59	330	110
40	41.5	308	80.7
46	81	440	89
52	60.5	440	90.9

13-VII-58.

58	60.5	440	91.5
64	60.5	440	93.5
70	52	440	160
76	52	440	160

14-VII-58.

84	51	418	160
90	51.5	418	160
100	51.5	440	160
15-VII-58.			
108	51.5	440	160
118	51	528	160
124	52	440	160
16-VII-58.			
132	51	440	160
140	50	484	160
148	51	440	160
17-VII-58.			
158	51	418	160
164	51	396	160
172	51	396	160
18-VII-58.			
180	51	330	85
188	51.5	418	85
196	51.5	418	85
19-VII-58.			
204	51.5	440	80
210	50	528	80
214	51	594	80
218	51	704	80



222	51	880	84
20-VII-58.			
226	50	1 386	83
230	48.5	1 848	82
232	42.5	2 123	81.5
236	40	2 650	80
240	26	3 060	80

d).- TERCER BOMBEO.

Una vez teniendo el Oleoducto con combustible ligero a la mitad de su cupo, la resistencia inicial al bombeo (la de más consideración) se redujo enormemente a tal grado de permitir el comienzo del bombeo con combustible pesado.

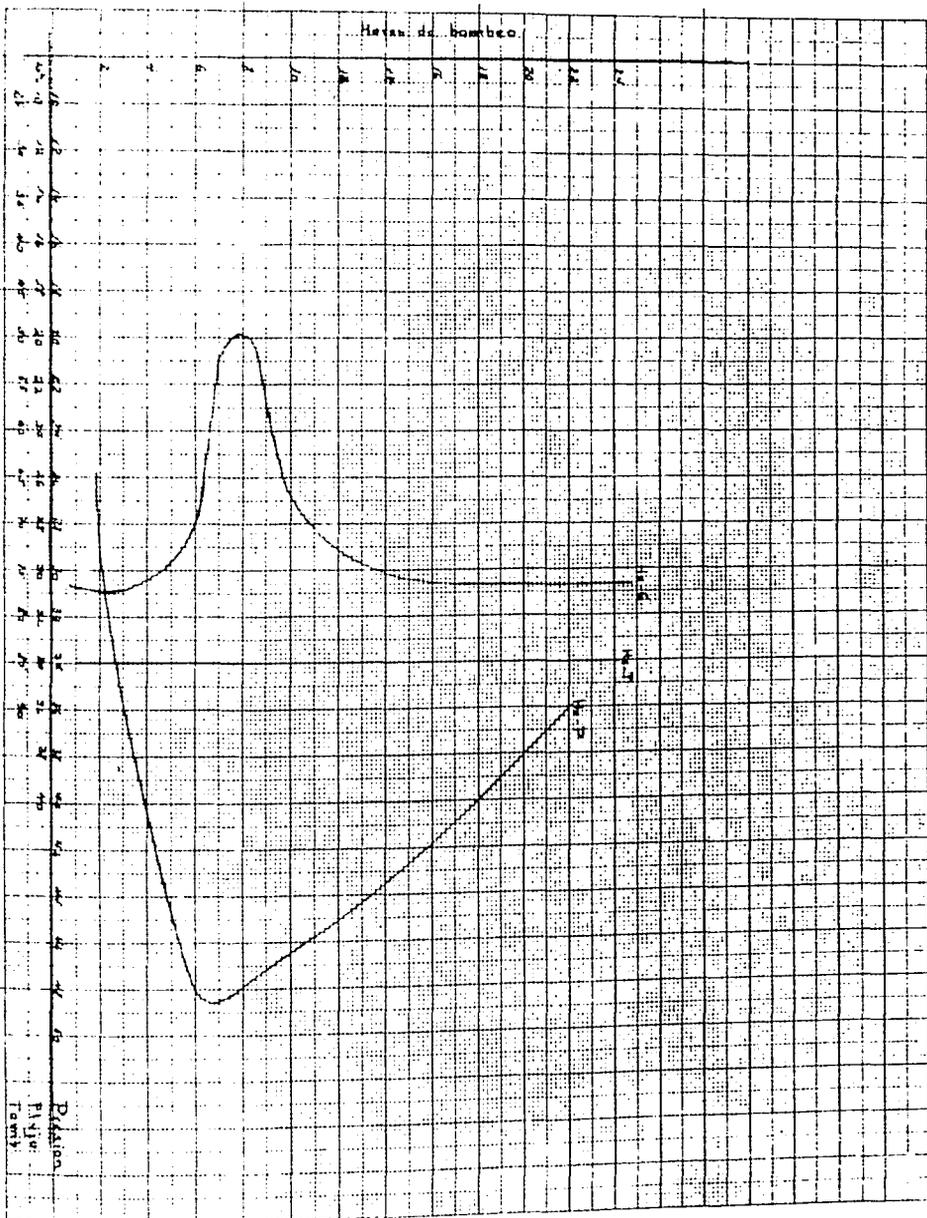
El bombeo se empezó con combustible pesado observándose el fenómeno visto con anterioridad, (segundo bombeo) al bombearse combustible ligero; poco a poco fueron aumentando el flujo y la presión hasta vencer la resistencia del punto más alto del Oleoducto que corresponde a Parrientos.

A partir de este momento (cuando el Oleoducto queda lleno hasta Parrientos), la caída de presión decrece al igual que Δt , hasta tener condiciones normales de operación que varían con el estado del tiempo existente en el momento del bombeo.

Para terminar el bombeo se llenó el Oleoducto con combustible ligero y esta vez no se sopló, sino que se dejó el Oleoducto lleno con dicho combustible (170" V.S.F. a 50°C.)

Tercer bombeo.

4-VIII-58.



Hs. de bombeo	Presión Kg/cm ²	Flujo m ³ /día.	Temp. Inicial°C.
--	--	--	32
2	26	3 060	85
4	40	3 060	85
6	48	3 060	85
8	48	1 780	85
10	44	2 760	85
14	42	3 060	85
18	40	3 060	85
22	36	3 060	85

e).- CUARTO BOMBEO.

Este bombeo se empezó con combustible ligero para el cual se hicieron las dos consideraciones siguientes:

1.- Si el flujo levanta en un tiempo más o menos razonable (2 hs) el Oleoducto presentará su resistencia normal y se podrá usar combustible pesado.

2.- Si el flujo tarda más de 2 hs. sin levantar, la resistencia al paso del fluido no es normal y se seguirá empleando combustible ligero, hasta tener un flujo mayor de 10 LM, indispensable durante el primer período de bombeo.

No se empleó combustóleo pesado al principio, ni se hicieron las consideraciones anteriores por no introducir más resistencia a la ya existente, al enfriarse el combustóleo pesado.

El bombeo se empezó con combustóleo ligero y el flujo fue -- lento. Subió poco a poco, tardando 19 horas en tomar su curso normal, es decir más o menos 10 LM (o 200 m³/día). Fue entonces cuando se hizo el cambio a combustóleo pesado.

Para terminar el bombeo se llenó la línea con combustible li

gero.

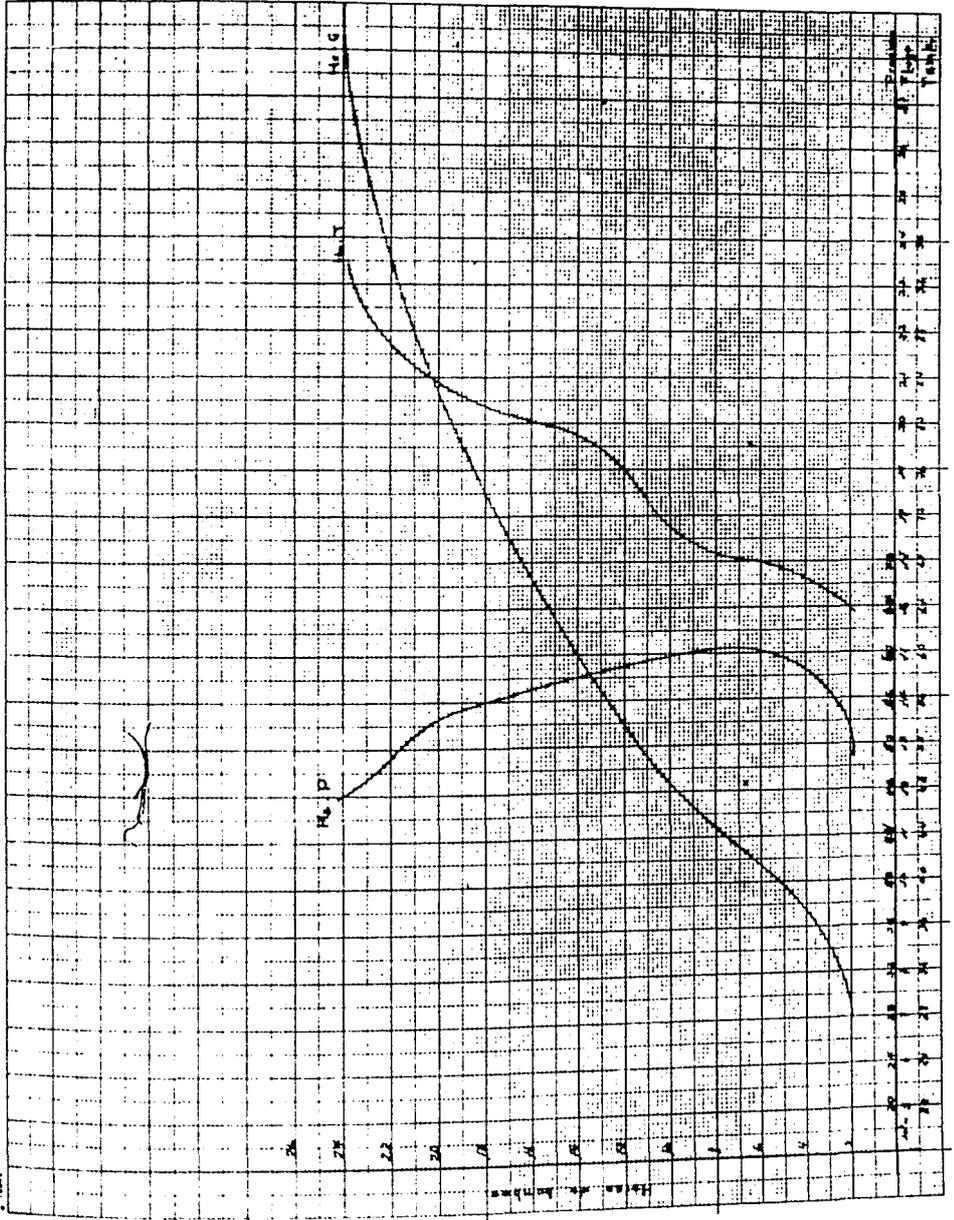
Después de este bombeo, se pusieron varias juntas de expansión para aliviar la tensión o contracción existente en la línea por enfriamiento y calentamiento de la misma en cada período de bombeo.

Cuarto Bombeo.

8-IX-58.

Hs. de bombeo	Presión Kg/cm ²	Flujo m ³ /día	Temp. Inicial °C
--	--	--	36
2	51	715	64
4	60	925	69
6	60	1 040	68
8	60	1 120	68
10	60	1 235	71
12	59	1 340	77
14	58	1 500	78
16	57	1 650	80
18	56	1 850	81
20	55	2 110	81
22	51	2 560	87
24	48	2 920	90

Los bombeos posteriores se han hecho en la misma forma que el anterior, es decir, se empieza bombeando combustible ligero y cuando el flujo es normal, se hace cambio a combustible pesado. Para terminar se llena la línea con combustible ligero.



CAPITULO V.

SUMARIO.

CONCLUSIONES.

- a) Condiciones óptimas de bombeo.
- b) Criterio de operación de cada ciclo de bombeo.
 - 1.- Iniciación del bombeo cuando el Oleoducto ha quedado lleno con combustible ligero.
 - 2.- Iniciación del bombeo con el Oleoducto par--cialmente lleno con combustible ligero.
- c) Método óptimo de suspensión en cada ciclo de bombeo.
- d) Observaciones.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES.

a).- CONDICIONES OPTIMAS DE BOMBEO.

Se pueden considerar dos maneras de interpretar las condiciones óptimas de bombeo. Una de carácter económico y otra desde el punto de vista de operación del Oleoducto. Ambas son muy importantes y están ligadas entre sí.

Las condiciones óptimas de operación del Oleoducto se tienen con una temperatura ambiente mayor de 20°C y flujo normal establecido mayor de 2 200 m³/día, dando como resultado que el coeficiente de transmisión de calor baje su valor, a veces hasta un 100% en comparación con condiciones atmosféricas adversas.

Al aumentar la temperatura media, disminuye notablemente la caída de presión (ΔP), a consecuencia de la disminución de viscosidad.

En estas condiciones atmosféricas favorables, se evita notablemente el desgaste del equipo, principalmente las bombas.

Desde el punto de vista económico, se pueden considerar condiciones ideales, que serían las de mantener un flujo adecuado al gasto de la Planta Termoeléctrica, contándose con el almacenamiento mínimo para casos de emergencia. Como son condiciones ideales, dado que el flujo mínimo es de 2 000 m³/día, con las condiciones atmosféricas y el consumo de la Planta Termoeléctrica es a veces muy pequeño (200 m³/día), lo conveniente es alargar lo más posible los períodos de bombeo para evitar el sobrecargo al costo por la diferencia de precio entre el combustible pesado y el ligero. Este último, empleado en el lavado de la línea al terminar cada ciclo de bombeo.

Se pueden considerar condiciones óptimas económicas y de operación, el soplar el Oleoducto después de cada ciclo de bombeo, al -- disminuir el costo de transporte del combustible por recuperación -- del combustible de lavado y facilitar la operación posterior.

b).- CRITERIO DE OPERACION DE CADA CICLO DE BOMBEO.

El criterio a seguir para la operación del Oleoducto comprende principalmente la iniciación y terminación de cada ciclo de bombeo, ya que no se puede mantener un flujo pequeño para tener un bombeo -- contínuo.

La iniciación de cada ciclo de bombeo depende de la manera como se haya dejado el Oleoducto al terminar el bombeo y que debiera ser fijada por un acuerdo entre la Compañía de Luz y Petróleos Mexicanos, pues según el contrato celebrado entre ambas compañías, no -- se toma en cuenta el soplado. Así pues existen dos maneras de iniciar el bombeo. La primera cuando el Oleoducto ha quedado lleno con combustible ligero y la segunda, cuando el Oleoducto ha sido soplado, quedando parcialmente lleno con combustible ligero.

1.- Iniciación del bombeo cuando el Oleoducto ha quedado lleno con combustible ligero.

Teniendo en cuenta las experiencias tomadas durante el tercer bombeo, la operación inicial será bombear combustible ligero lo más caliente posible hasta llegar a establecer un flujo mayor de 10 Lecturas de Medidor, para poder hacer cambio posteriormente a combustible pesado.

2.- Iniciación del bombeo con el Oleoducto parcialmente lleno con combustible ligero.



Siendo el método más económico y el más sencillo desde el punto de vista de operación, la iniciación del bombeo teniendo el Oleoducto parcialmente lleno con combustible ligero se puede llevar a cabo con combustible pesado a una temperatura de 80°C, obteniéndose una caída de presión semejante al caso anterior y un flujo de más de 10 LM., que equivale a tener condiciones normales de bombeo.

Por lo general, cada ciclo de bombeo se lleva a cabo con el equipo de diseño (Bombas RJP-36 A y RJP-36 B) y salvo en casos de emergencia se emplea el equipo auxiliar.

Para terminar el bombeo se calcula el cupo en la Planta Termoeléctrica, para poder llenar la línea con combustible ligero. En caso de que se vaya a soplar el Oleoducto, debe calcularse un cupo mayor en 100-150 m³ que corresponde a lo que se arrastra con el aire de soplado.

c).- METODO OPTIMO DE SUSPENSION EN CADA CICLO DE BOMBEO.

Como se ha dicho anteriormente y por las experiencias llevadas a cabo durante los primeros bombeos, se ve que es necesario el lavado de la línea con combustible ligero al terminar cada ciclo de bombeo, para evitar un posible taponamiento que ocasionaría el emplear posteriormente productos de baja viscosidad para destruirlo, aumentando el costo de bombeo por cargos por lavado.

Existe una manera para favorecer más aún las condiciones del siguiente bombeo y reducir notablemente el costo por lavado de línea. Consiste en soplar el Oleoducto hacia la Planta Termoeléctrica y hacia la Refinería, donde se recupera el combustible ligero, que al quedar de vacío en el Oleoducto, disminuye notablemente la resistencia inicial.

Si el soplado es efectiva, de tal forma que se llegue a recuperar aproximadamente la mitad del cupo del Oleoducto, permite empezar el bombeo con combustible pesado, ahorrándose la mitad del cupo del Oleoducto ($\pm 850 \text{ m}^3$) y la cantidad inicial necesaria para obtener un flujo mayor de $\approx 200 \text{ m}^3/\text{día}$ indispensable para hacer cambio a combustible pesado, habiéndose empezado el bombeo con el Oleoducto lleno.

Debe tenerse en cuenta que mientras mayor sea la cantidad de combustible recuperada durante el soplado, menor será la resistencia ofrecida por el Oleoducto.

Sería recomendable un soplado intermitente del Oleoducto. Así se facilitaría los escurrimientos del combustible en las partes donde se hace columpio, evitando pequeños tapones.

d).- OBSERVACIONES.

1.- Para flujos pequeños, la temperatura inicial desempeña un factor de poca importancia en el valor de la temperatura media, pero debe tenerse en cuenta que esta pequeña cantidad va aumentando al desplazarse el combustible frío, hasta llegar a ser un factor decisivo en la temperatura media y sobre todo en el valor del coeficiente de transmisión de calor. Este coeficiente va disminuyendo, contándose con condiciones favorables, al aumentar el tiempo y la duración del ciclo de bombeo.

2.- el tiempo de paro calculado en el capítulo anterior, teóricamente es factible, pero prácticamente no se ha llegado a comprobar. Sin embargo, contándose con todas las condiciones a las que se calculó, se podría reanudar el bombeo con $10\,000 \text{ bbl/día}$ ya que el enfriamiento de la línea sería hasta cierto punto uniforme y no

se presentaría el mismo caso cuando se desplaza el combustible ligero, en el cual el flujo no se puede levantar a más de 2 LM. durante la primera hora de bombeo.

3.- Es de mucha importancia hacer notar que todos los cálculos dependen en gran parte de las condiciones del tiempo, pues todas varían y difícilmente se pueden calcular si está lloviendo.

4.- Puede considerarse que se ha vencido la mayor parte de la resistencia al principiar cada bombeo, cuando el combustible caliente ha pasado por el punto más alto del Oleoducto y que corresponde al poblado de Barrientos.

5.- En caso de alguna ruptura del Oleoducto, siempre quedaría sujeto a criterio del Ingeniero la manera de entregar la línea para su reparación, pero deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

A) El dejar la línea con combustible pesado origina un gasto excesivo de combustible ligero al reanudarse el bombeo, si el tiempo de reparación llegase a pasar de 9.5 hs. (tiempo de paro permitido).

B) Si la ruptura es grande, la fuga de combustible será considerable y al querer llenar la línea con combustible ligero, aumentará la fuga por disminuir la viscosidad.

C) Después de haber llenado la línea con combustible ligero, lo más indicado sería soplarla. Así podría reanudarse el bombeo con combustible pesado sin ninguna dificultad.

6.- Sería recomendable que durante cada ciclo de bombeo, el personal encargado del Oleoducto efectuara recorridos a los puntos que se pueden considerar claves en la línea como son los registros donde

se encuentran las válvulas de bloqueo, manómetros y termómetros y las juntas de expansión, dado que se encuentran en los lugares don de el Oleoducto tiene mayor desgaste.

CAPITULO VI.

SUMARIO.

BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO VI.

BIBLIOGRAFIA.

Perry, J.H., Editor.

Chemical Engineers' Handbook, 3d. ed.

Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York, 1950.

Walker, W.K. Lewis, W.H. Mc Adams and E.R. Gilliland.

Principles of Chemical Engineering, 3d. ed.

Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York, 1937.

Brown, G.G.

Unit Operations.

John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950.

Nelson.

Petroleum Refinery Engineering.

Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York, 1950.

Kern.

Process Heat Transfer., 3d ed., 2d imp.

New York, 1950.

Dodge and Thompson.

Fluid Mechanics.

Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York and London 1937.

Stoever, J.H.

Transmisión de calor y sus aplicaciones.

Ediciones Librería del Colegio, Buenos Aires, 1954 .

Flow of Fluids in Pipes.

Superintendencia General de Proceso, Petróleos Mexicanos.

Flow of Fluids.

Tube Turns.

Louisville 1, Kentucky.

Galworth.

Valves, fittings and pipe wrenches.

New York, 1951.

King Horace Williams.

Handbook of Hydraulics, 3d. ed.

Mc Gray Hill Book Co., Inc., New York and London, 1939.