TESIS PROFESIONAL
DE
INGENIERO PETROLERO

MIGUEL ANGEL ROCA CUELLAR
1 9 4 4 .

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA

Tesis que presenta

M I G U E L A N G E L R O C A

para sustentar Examen Profesional

de

INGENIERO PETROLERO.

M E X I C O

1 9 4 4

ESCUELA NACIONAL DE INGENIER
Dirección.
Núm. 731-412.
Exp. Núm. 731/214.2£-

Al Pasante señor
Miguel Angel ROCA CUELLAR,
P r e s e n t e.

En atención a su solicitud relativa me es grato transcribir a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el señor Prof. Ing. Antonio Manuel AMOR para que lo desarrolle usted como tesis en su examen profesional de Ingeniero PETROLERO.

"El Oleoducto Poza Rica-Atzcapotzalco tiene el diámetro de 0.254 metros en toda su extensión, con excepción de los primeros 19.1/2 kilómetros entre Poza Rica y la Estación de Bombas No. 2 que tiene tubería de 0.305 mm. y el tramo entre el río Unido y la Refinería de Atzcapotzalco que también es de 0.305 mm. de diámetro.

El número de Estaciones de Bombeo existentes en esta línea actualmente es de 7, quedando en ellas incluída la Estación de Poza Rica que es accionada por vapor.

Las 6 estaciones intermedias están equipadas como sigue:

Estación No. 2.- 3 bombas Worthington Simpson de 7 500 barriles diarios de capacidad cada una y 600 libras de presión, con sus motores, transformadores y tableros correspondientes.

1 tanque de 500 barriles.

1 tanque de 2 000 barriles.

1 tanque de 20 000 barriles.

Estación No. 3.- 3 bombas Prescott de 7 500 barriles de capacidad, 800 libras por pulgada de presión, motores, transformadores, etc.

1 tanque de 500 barriles.

1 tanque de 2 000 barriles

Estación No. 4.- 3 bombas Worthington Simpson de 7 500 barriles 600 libras por pulgada cuadrada de presión, motores, etc.

1 tanque de 500 barriles.

1 tanque de 2 000 barriles.

Estación No. 5.- 2 bombas Worthington Simpson de 7 500 barriles 600 libras por pulgada de presión. 1 bomba Prescott de 7 500 barriles de 800 libras de presión.

1 tanque de 500 barriles.

1 tanque de 2 000 barriles.

Estación No. 6.- 3 bombas Worthington de 7 500 barriles y 600 libras de presión, motores, etc.

1 tanque de 500 barriles.

1 tanque de 2 000 barriles.

1 tanque de 20 000 barriles.

Estación No. 7.- 3 bombas Worthington de 7 500 barriles y 600 libras de presión, motores, etc.

1 tanque de 500 barriles.

1 tanque de 2 000 barriles.

La Estación de Poza Rica puede bombear cualquier cantidad de petróleo que se necesite por tener el equipo suficiente para bombear hasta 180 000 barriles.

En la actualidad se puede bombear por este Oleoducto un volumen de 22 500 barriles como máximo.

Se desea ampliar la capacidad de ese Oleoducto y saber hasta que capacidad de bombeo es económica la ampliación por medio de nuevas estaciones de bombeo y ampliación de las actuales y desde que capacidad de bombeo es económico poner una nueva línea determinando el diámetro de ésta. Será condición necesaria señalar en

ambos casos las localizaciones de las estaciones de bombas y el equipo que debe instalarse en ellas para lo cual se acompaña el plano y perfil del Oleoducto actual.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU".
México, D.F., a 19 de marzo de 1943.

EL DIRECTOR.

Ing.Pedro Martínez Tornel.
(Firmado).

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

El oleoducto Palma Sola-Atzcapotzalco fue construído en el año de 1932 para transportar 15 000 bb/día de aceite. Con el descubrimiento y desarrollo de Poza Rica, la estación inicial se trasladó a este lugar para convertirse en el Oleoducto Poza Rica-Atzcapotzalco en el año 1940.

La necesidad de "crudo" en Atzcapotzalco ha venido aumentando, razón por la cual desde hace tres años el oleoducto viene trabajando a una capacidad de 18 000 bb/día, para lo cual se utilizan las bombas de emergencia. El constante incremento de la demanda de los diferentes productos del petróleo en esta capital y lugares cercanos ha empujado a los dirigentes de la Industria a estudiar las posibilidades de ampliación del oleoducto, y los límites dentro de los cuales es económica la ampliación.

Desde luego, el problema de ampliación del oleoducto está íntimamente ligado con otros dos problemas de primer orden, que no serán tratados en el presente trabajo:

1).- El estudio de las reservas de Poza Rica, para determinar si son capaces de alimentar el oleoducto en sus diferentes etapas de ampliación por un tiempo suficiente como para cubrir la última amortización del capital invertido.

2).- El estudio de las posibilidades de ampliación de la Refinería de Atzcapotzalco para determinar si ésta puede correr pareja con la del oleoducto, a fin de absorber todo el petróleo transportado.

Sin embargo como dato informativo sobre el primer problema diré que en el año de 1940 el ingeniero José Colomo, en colaboración de los ingenieros Barnetche y López, hizo un estudio de las reservas petrolíferas del campo de Poza Rica, por medio del cual llegó a la conclusión que la reserva de este campo podía estimarse conservadoramente en un total de 597 000 000 de barriles.

El ingeniero Manuel A. Amor, en el enunciado del problema que me planteó para el desarrollo de esta Tesis, dice que se desea ampliar la capacidad del oleoducto Poza Rica Atzcapotzalco de 22 500 barriles diarios como máximo que se bombean actualmente, a un máximo que resulte económico, ya sea ampliando las estaciones actuales o por medio de nuevas estaciones, y ver desde qué capacidad es económico poner una nueva línea.

Como puede apreciarse de lo dicho anteriormente se trata de un problema esencialmente económico, para cuya resolución comienzo por hacer ligeras consideraciones generales.

G E N E R A L I D A D E S .

ACEITE.- Como digo al comienzo del presente trabajo, actualmente se transporta por este oleoducto, un promedio de 18 000 barriles diariamente de un aceite llamado "Sintoleo", el cual es una mezcla estabilizada de crudo de Poza Rica y gasolina tratada en una planta de destilación primaria que existe en este campo.

La mezcla en las condiciones más desventajosas de temperatura (15° C), tiene las siguientes propiedades:

Densidad 0.87

Viscosidad cinemática: 24 centistokes.

TUBERIA.- El oleoducto tiene un desarrollo de 225 kms. formado con tubería de 10 y 12 pulgadas. Los tramos inicial y final tienen 19.5 y 9 kms. de tubería de 12 pulgadas respectivamente, siendo los 196.5 kms. restantes de tubería de 10 pulgadas. El desnivel que hay que vencer es de 2194 metros. (Perfil y plano al final).

Gran parte de la tubería existente, es la misma que se tendió cuando se construyó el oleoducto y aunque su estado de conservación es satisfactorio, el coeficiente de seguridad debe haber declinado bastante. Para "checar" la resistencia de la tubería, lo mejor sería probarla con presiones mayores que la de bombeo.

La fórmula que liga la resistencia de un tubo de determinado diámetro, su espesor y la presión (p) a que se sujeta en su interior es:

$$2St_s = (x + 2t)p.$$

de la que se obtiene

$$t = \frac{xp}{2(S-p)} \quad (1) \text{ Barlow)}$$

Si en el cálculo de un oleoducto se ha llegado a determinar el espesor de las paredes de los tubos, solo bajo consideraciones hidráulicas será indispensable comprobar que con ese espesor los tubos pueden resistir a los siguientes esfuerzos y condiciones a que puede quedar expuesto.

a).- Si resisten a la carga estática máxima a que van a quedar sujetos.

b).- Si resisten el exceso de presión que puede resultar con un golpe de ariete.

c).- Si resisten a la presión exterior a que pueden quedar expuestos los tubos en ciertos lugares cuando por circunstancias especiales se forme algún vacío en el interior.

d).- Si pueden resistir a los esfuerzos de flexión y a los esfuerzos cortantes cuando los tubos trabajen como vigas.

e).- Si son capaces de resistir a las tensiones y compresiones debidas a las expansiones y contracciones de las tuberías con los cambios de temperatura.

f).- Si podrían resistir a las distorsiones

y cambios de sección que pueden tener lugar al hacer las conexiones.

g).- Si los tubos pueden resistir a pesar de las variaciones que ocasionalmente se verifiquen por accidente a la hora de manufacturarlos, y

h).- Debe tenerse en cuenta que la sección puede disminuir por efectos de la corrosión.

El grueso mínimo de las paredes de los tubos de línea, depende, como se vió en la fórmula de Barlow, del diámetro de los tubos; pero también debe satisfacer las condiciones enumeradas antes.

La experiencia de los Estados Unidos, ha permitido establecer la siguiente expresión con la que se puede calcular el espesor mínimo de las Tuberías.

$$t' = 0.17 + \frac{x}{100} \text{ en pulgadas.} \quad (2)$$

La fórmula (1) que expresa el grueso de las paredes de la tubería es:

$$t' = \frac{xp}{2(S-p)}$$

Igualando (1) y (2) queda:

$$\frac{xp}{2(S-p)} = \frac{17 + x}{100}$$

de donde

$$p = \frac{S(17+x)}{51x+17} \quad (3)$$

Los siguientes valores facilitan la aplicación de la ecuación (3).

Diametro normal	x	$\frac{17 \div x}{51x \div 17}$	S 10 000 lbs.	S 12 000 lbs.	S 15 000
2"	2.07"	0.1550	1550	1938	2327
3"	3.07"	0.1154	1154	1443	1732
4"	4.03"	0.0945	945	1181	1418
6"	6.07"	0.0705	703	880	1057
8"	7.98"	0.0590	590	738	884
8"	8.25"	0.0590	590	738	885
10"	10.02"	0.0512	512	639	767
12"	12.00"	0.0461	461	576	714
12"	12.144"	0.0458	458	572	686
20"	10.34"	0.0369	367	461	554

Las características de las tuberías de línea, se dan en la tabla siguiente:

Tuberías con rosca en los extremos A.P.I.

Las dimensiones son para temperaturas de 68°F.

Número	Diámetro		Peso en libras por pie.		Hilos de cuerda por pulg.	Presiones de prueba en libras por pulgada cuadrada.					Uniones "Coupling)"		
						Acero.							
	Externo	Interno	Extremos lisos	Extremos con rosca y uniones.		Costura soldada	Soldada Grado A.	Grado B	Grado C.	Sin Junta	Longitud	Diámetro Exterior	Peso.
1	1.315	1.049	1.678	1.	11 1/2	700	- -	- -	--	--	2 3/8	1.575	.470
1 1-4	1.660	1.380	2.272	2.300	11 1-2	1200	2500	2500	2500	2500	2 7/8	1.054	1.036
1 1/2	1.900	1.610	2.717	2.750	11 1/2	1200	2300	2500	2500	2000	2 7/8	2.294	1.170
2	2.375	2.067	3.652	3.750	11 1/2	1200	1900	2200	2500	1700	3 5/8	2.870	2.174
2 1/2	2.875	2.469	5.793	5.900	8	1200	2100	2400	2500	1800	4 1/8	3.389	3.433
3	3.500	3.068	7.575	7.700	8	1200	1900	2100	2300	1600	4 1/8	4.014	4.131
3 1/2	4.000	3.584	9.109	9.250	8		1700	1900	2100	1500	4 5/8	4.628	6.289
4	4.500	4.026	10.790	11.000	8		1600	1800	2000	1400	4 5/8	5.216	8.155
5	5.563	5.047	14.617	15.000	8		1500	1600	1800	1200	5 1/8	6.420	12.870
6	6.625	6.065	18.974	19.450	8		1500	1400	1600	1100	5 1/8	7.482	15.176
8	8.625	8.071	24.696	25.550	8		1000	1100	1200	850	6 1/8	9.593	26.626
8	8.625	7.981	28.554	29.350	8		1200	1300	1400	1000	6 1/8	9.593	26.626

Tuberías con rosca en los extremos A.P.I.

Las dimensiones son para temperatura de 68°F.

Número	Diámetro		Peso en libras por pie.		Hilos de cuerda por pulg.	Presiones de prueba en libras por pulgada cuadrada.					Uniones "Coupling"		
						Acero.							
	Externo	Interno	Extremos lisos.	Extremos con rosca y uniones.		Costura soldada	Soldada Grado A.	Grado B.	Grado C.	Sin Junta.	Longitud.	Diámetro Exterior	Peso.
10	10.750	10.192	31.201	32.750	8		800	900	1000	700	6 5/8	11.958	44.156
10	10.750	10.136	34.240	35.750	8		900	950	1100	750	6 5/8	11.958	44.156
10	10.750	10.020	40.483	41.850	8		1000	1200	1300	900	6 5/8	11.958	44.156
12	12.750	12.090	43.773	45.450	8		800	900	1000	700	6 5/8	13.058	51.991
12	12.750	12.000	49.562	51.150	8		900	1000	1100	750	6 5/8	13.958	51.991
14	14.000	13.250	54.568	57.000	8		800	900	1000	700	7 1/8	15.446	72.280
15	15.000	14.250	58.573	61.150	8		750	850	950	650	7 1/8	16.446	77.221
16	16.000	15.250	62.579	65.300	8		700	800	900	600	7 1/8	17.446	82.162
17	17.000	16.214	69.704	73.200	8		750	800	900	600	7 1/8	18.683	99.628
18	18.000	17.182	76.840	81.200	8		700	750	850	600	7 1/8	19.921	119.145
20	20.000	19.182	85.577	90.000	8		650	700	800	550	7 3/8	21.706	127.850

Tuberías de línea con extremos lisos
(sin rosca).

Diámetro Exterior	Grueso de la pared	Peso en libras por pie.	Presión de prueba en libras por pulgada cuadrada.			
			Acero			Hierro forjado soldadas en la junta o sin soldar
			Soldada Grado A	Soldada Grado B	Grado C	
3 1/2	.216	7.575	1900	2100	2300	1600
	.254	8.805	2200	2500	2500	1900
	.300	10.252	2500	2500	2500	2300
4	.226	9.109	1700	1900	2100	1500
4 1/2	.237	10.790	1600	1800	2000	1400
	.3125	13.975	2100	2400	2500	1800
6 5/8	.280	18.974	1500	1400	1600	1100
8 5/8	.277	24.696	950	1100	1200	850
	.500	43.388	1700	2000	2200	1500
10 3/4	.279	31.201	800	900	1000	700
	.348	38.661	950	1100	1200	850
	.500	54.735	1400	1600	1800	1200
12 3/4	.330	43.773	800	900	1000	700
	.375	49.562	900	1000	1100	750
	.500	65.415	1200	1300	1500	1050

Tuberías de línea con extremos lisos
(sin rosca).

Diámetro Exterior	Grueso de la pared.	Peso en libras por pie.	Presión de prueba en libras por pulgada cuadrada.			
			Acero			Hierro forjado soldadas en la junta o sin soldar.
			Soldada Grado A	Soldada Grado B	Grado C	
14	.375	54.568	800	900	1000	700
	.4375	63.371	950	1100	1200	800
	.500	72.091	1100	1200	1400	950
16	.375	62.579	700	800	900	600
	.4375	72.716	800	950	1000	800
	.500	82.771	950	1100	1200	900
18	.40625	76.336	700	750	850	600
	.46875	87.767	800	900	1000	700
	.500	93.451	850	950	1100	750
20	.40625	85.013	600	700	800	550
	.46875	97.779	700	800	900	600
	.500	104.131	750	850	950	650

ESTACIONES DE BOMBAS.- El "Sintoleo" es impulsado a lo largo de toda la línea por medio de siete estaciones de bombeo, las cuales a excepción de la Estación Poza Rica, que es accionada por vapor, utilizan energía eléctrica, comprada a la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz. El suministro de esta energía se hace en la siguiente forma:

En Necaxa dispone la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza de un banco de 4 auto-transformadores monofásicos de 800 K.V.A. cada uno (tres en servicio y uno de emergencia) de 4000/22000/44000 volts, del cual parten dos líneas dobles trifásicas, una de 44,000 volts que alimenta las estaciones números 2 y 3 y otra de 22,000 volts que alimenta las estaciones 4, 5, 6 y 7, además de dar servicio de luz a las poblaciones de Huauchinango, Zacatlán y Beristein.

La línea doble de 44,000 volts (una para dar servicio y otra igual para emergencia) consta de los siguientes tramos:

Estación 2 a estación 3- Cable número 4 A.C.S.R.

Estación 3 a Necada - Cable número 3 A.C.S.R.

Además existe fuera de servicio el tramo de la Estación 2 a Palma Sola con cable número 6 A.C.S.R.

La línea doble de 22,000 volts (una para dar servicio y otra igual para emergencia) consta de los siguientes tramos:

Necaxa a Estación 4 - Cable número 2 A.C.S.R.

Estación 4 a Estación 5 - Cable número 2 A.C.S.R.

Estación 5 a Estación 6 - Cable número 2 A.C.S.T.

Estación 6 a El Carmen - Cable número 6 cobre (la antigu
y número 6 A.S.C.R. (la nueva)

El Carmen a Estación 7 - Cable número 6 A.C.S.R.

Ampliando los datos del enunciado del problema, a continuación detallo el equipo de las 6 estaciones intermedias.

ESTACION No. 2.- 3 bombas Worthington Simson de 7 500 barriles diarios de capacidad y 600 libras por pulgada ^{2} de presión con motores "Metropolitan Vikers" de 100 H.P. y 3 transformadores "English Electric" de 250 K.V.A. cada uno.
1 tanque de 500 barriles.
1 tanque de 2000 "
1 tanque de 20 000 "

ESTACION No. 3.- 3 bombas "Prescott" de 7 500 barriles de capacidad y 800 libras por pulgada cuadrada de presión, con motores General Electric de 125 H.P. y 3 transformadores "English Electric" de 250 K.V.A. cada uno.
1 tanque de 500 barriles.
1 tanque de 2000 "

ESTACION No. 4.- 3 bombas "Worthington Simpson" de 7 500 barriles diarios de capacidad, con motores "Metropolitan Vikers" de 100 H.P. y 2 transformadores "English Electric" de 250 K.V.A.
1 tanque de 500 barriles.
1 tanque de 2000 "

ESTACION No. 5.- 2 bombas "Worthington Simpson" de 7 500 barriles y 600 libras por pulgada cuadrada de presión con motores "Metropolitan Vikers" de 100 H.P. 1 bomba de 7 500 barriles por día y 800 libras por pulgada cuadrada de presión y con motor General Electric de 125 H.P.
2 transformadores "English Electric" de 250 K.V.A.
1 tanque de 500 barriles.
1 tanque de 2000 "

ESTACION No. 6.- 3 bombas "Worthington Simpson" de 7 500 barriles por día y 600 libras por pulgada cuadrada con motores "Metropolitan Vikers" de 100 H.P. y 2 transformadores "English Electric" de 250 K.V.A.

1 tanque de 500 barriles.

1 tanque de 2 000 "

1 tanque de 20 000 "

ESTACION No. 7.- 3 bombas "Worthington Simpson" de 7 500 barriles diarios y 600 libras por pulgada cuadrada de presión, con motores "Metropolitan Vikers" de 100 H. P. y 2 transformadores "English Electric" de 250 K.V.A.

El personal que opera cada una de las estaciones está formado así:

3 bomberos.

1 relevo.

1 vigilante.

2 peones.

La presión máxima de bombeo en las condiciones de la ampliación será de 800 libras por pulgada cuadrada.

M E T O D O D E E S T U D I O.

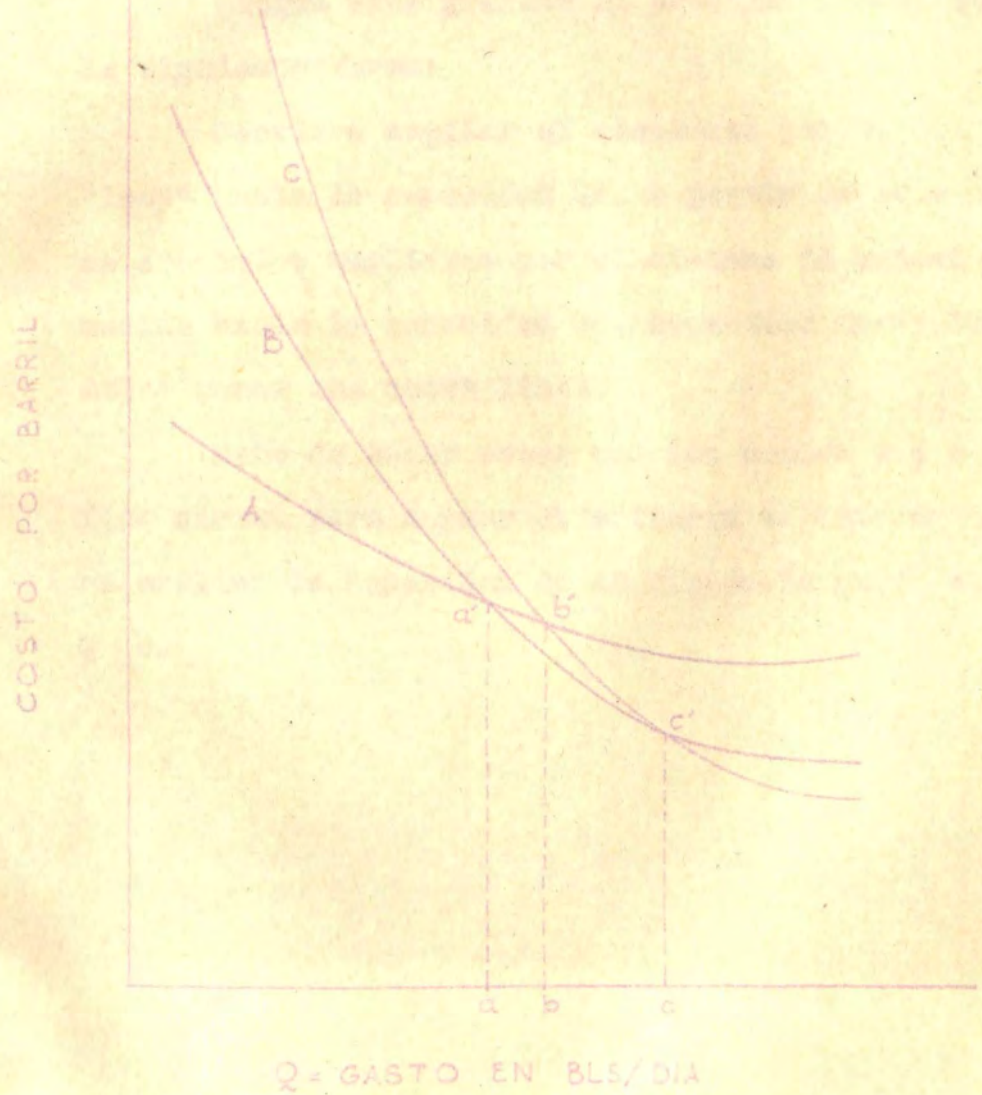
Para aumentar la capacidad de un oleoducto hay dos métodos generales:

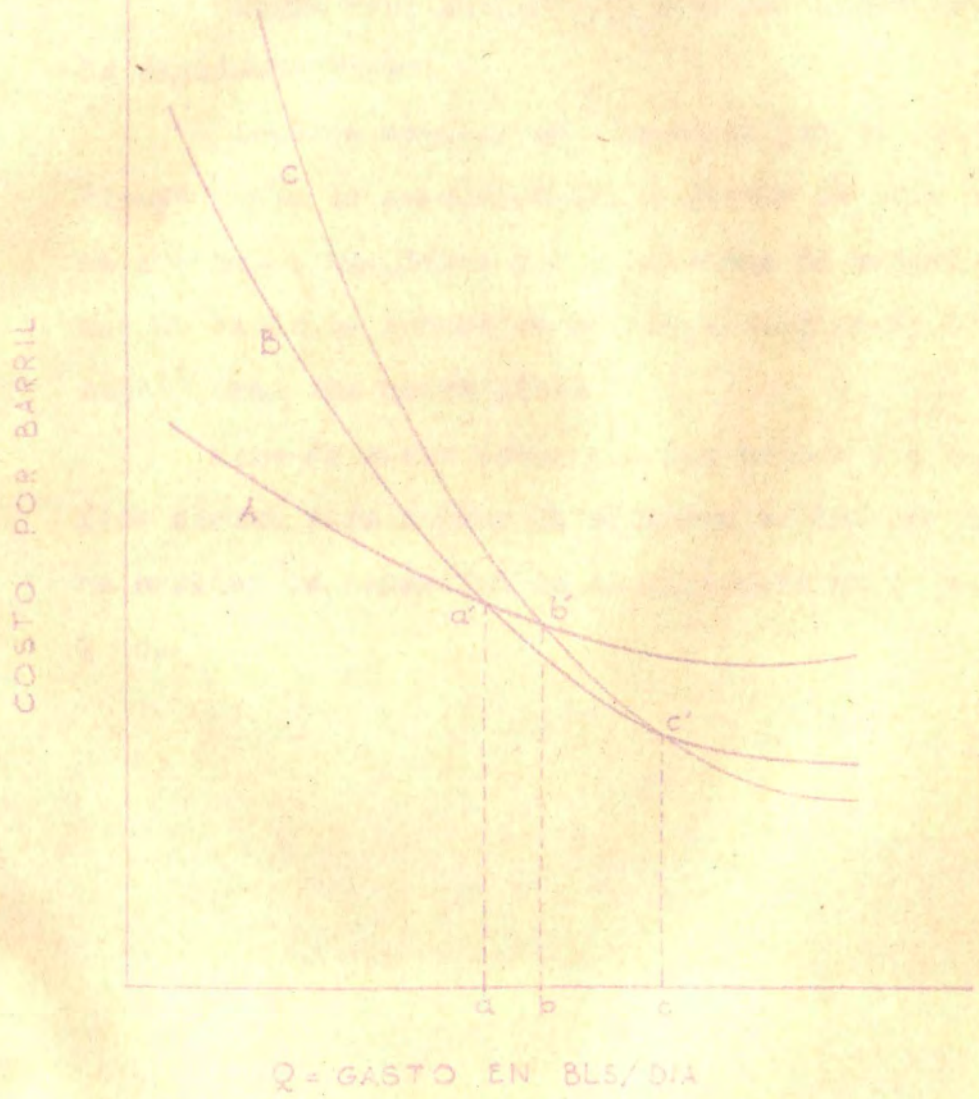
1).- Disminuir las resistencias por fricción y viscosidad ya sea aumentando diámetros o conectando tubos en paralelo. (loops).

2).- Aumentar la energía comunicada al líquido en las estaciones de bombeo, bien sea aumentando la presión de éstas, si el equipo mecánico y la resistencia de la tubería lo permiten e intercalando nuevas estaciones (booster).

En el problema particular que origina este breve trabajo se trata de encontrar los límites económicos entre los que conviene emplear ya sea tubos en paralelo o ya intercalar nuevas estaciones y ver desde que capacidad conviene poner una nueva línea. Se hace esta limitación de los métodos generales enunciados arriba porque se desea ampliar el oleoducto Poza Rica Atzcapotzalco sin interrumpir su funcionamiento y porque el equipo mecánico que en él existe está calculado para una presión de trabajo máxima de 800 libras por pulgada cuadrada (56 Kg. por centímetro cuadrado).

Teniendo las tres soluciones posibles, lo que hago es resolver el problema para cada caso. Después de obtener costos para diferentes gastos en los distintos sistemas, construyo curvas de costo por barril transportado contra la cantidad de barriles en que se


COSTO POR BARRIL
C
B
A
a'
b'
c'
a
b
c
Q = GASTO EN BLS/DIA


C
B
A
a'
b'
c'
a
b
c
COSTO POR BARRIL
Q = GASTO EN BLS/DIA

aumenta la capacidad del oleoducto. El punto donde dos curvas se intersectan es el punto hasta el cual conviene un sistema sobre el otro.

Para aclarar esta idea voy a suponer la gráfica 1) en que la curva A corresponde al sistema de ampliación por "loop"; la B por nuevas estaciones y la C corresponde a una nueva línea.

Según esta gráfica el problema queda resuelto en la siguiente forma:

Conviene ampliar el oleoducto por el sistema de "loop" hasta la capacidad Qa. A partir de esta capacidad es económico ampliarlo por el sistema de estaciones intermedias hasta la capacidad Qc, capacidad desde la cual es mejor poner una nueva línea.

Debo de hacer notar que los puntos a y c de la gráfica sirven para normar el criterio en caso de que se quiera ampliar la capacidad de un oleoducto en Q a, Q c y Q c.

AMPLIACION POR EL SISTEMA DE TUBOS EN PARALELO.

El manejo de toda clase de aceite de viscosidad común, se hace bajo condiciones de flujo turbulento (Re 3000).

Para encontrar la pérdida de carga por fricción en este régimen se usa comunmente la fórmula de Darcy, la cual en unidades prácticas es:

$$P = 6375f \frac{Ldq^2}{D^5}$$

P = Kilogramo por centímetro cuadrado.

L = Kilómetro.

f = Coeficiente de fricción.

d = densidad del fluído.

D = diámetro del tubo en centímetros.

La aplicación numérica de esta fórmula es un tanto laboriosa. En Petróleos Mexicanos tienen en uso los nomogramas 1, 2, 3 y 4 adjuntos.

La fórmula:

$$P = \frac{0.000000022118\, Q^{1.80} Z^{0.20} S^{0.80}}{D^{4.8}}$$

proporcionada por el ingeniero Julio A. Guerrero al Ing. Manuel A. Amor la puse en el nomograma #5 para las condiciones de viscosidad y densidad fijadas en el presente trabajo.

El significado de las literales y las unidades de esta fórmula son:

P = pérdida de carga por fricción en libras por pulgada cuadrada por kilómetro.

V = velocidad en pies por segundo.

Z = viscosidad absoluta en centipoises.

S = gravedad específica en gramos por centímetro cuadrado.

D = diámetro interior del tubo en pies.

Q = cantidad de barriles que pasan por la línea en 24 horas.

Con el objeto de ver la capacidad de bombeo hasta la cual se puede llegar sin exceder la presión máxima de 800 libras por pulgada cuadrada en los diferentes tramos, he calculado la Tabla I. Por ella se pueden distinguir claramente que en los tramos Poza Rica-Estación #2 y Estación #7-Atzcapotzalco, la presión de bombeo sube rápidamente con el incremento del gasto. Tal era de esperarse teniendo en cuenta que son los tramos más largos y considerando que las pérdidas de carga por fricción aumentan aproximadamente con el cuadrado del gasto en la unidad de longitud. Por lo contrario, en los tramos intermedios, de la Estación 2 a la Estación 7, siendo la carga de altura la principal que hay que vencer (2 000 metros en 5 kilómetros) las cargas por fricción aumentan lentamente.

La formación del cuadro se hizo de la siguiente manera:

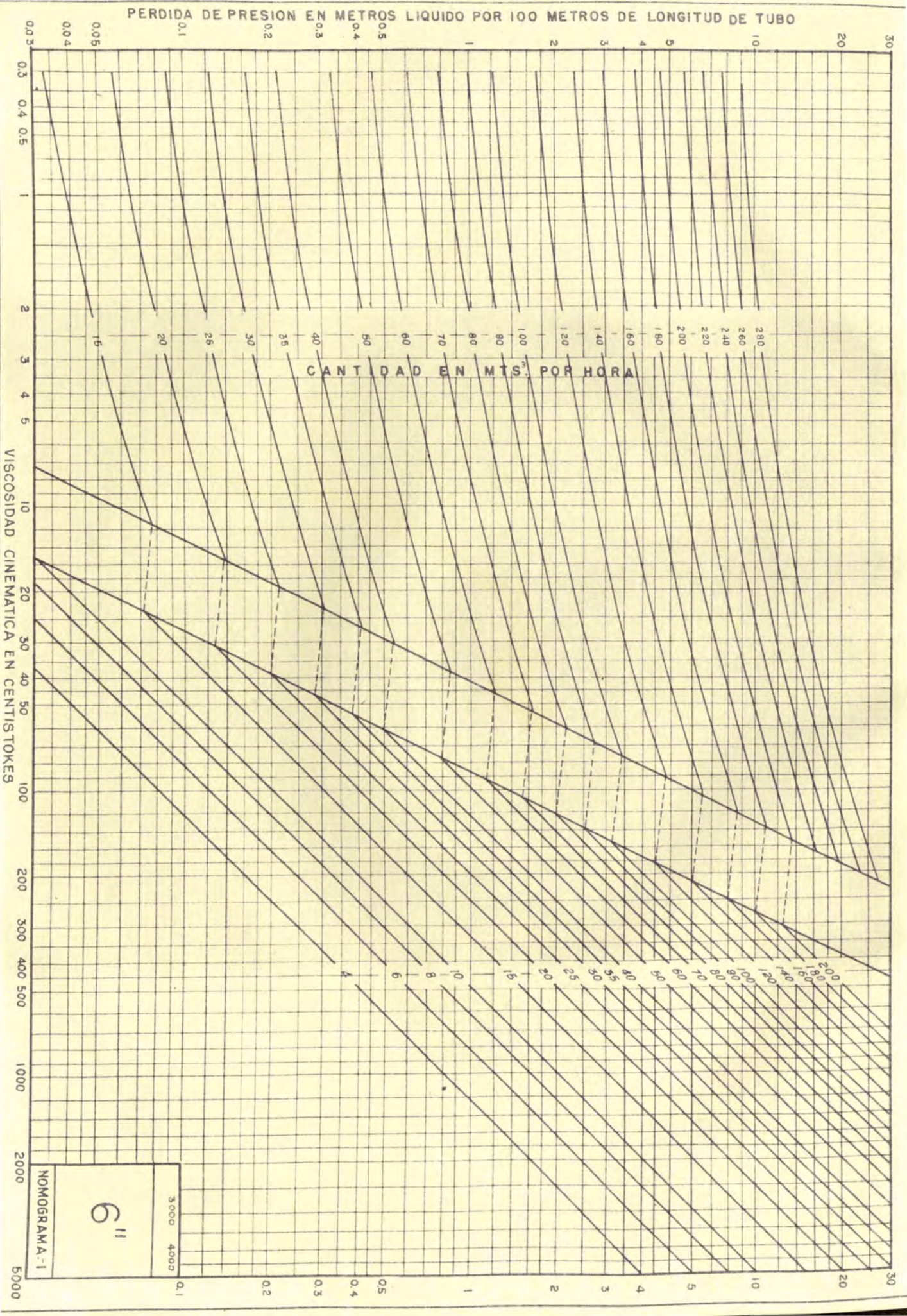
El tramo Poza Rica-Estación #2, está formado por 19.650 Kms. de tubería de 12" y 35.858 Kms. de tubería de 10", por eso para el cálculo de la presión de bombeo

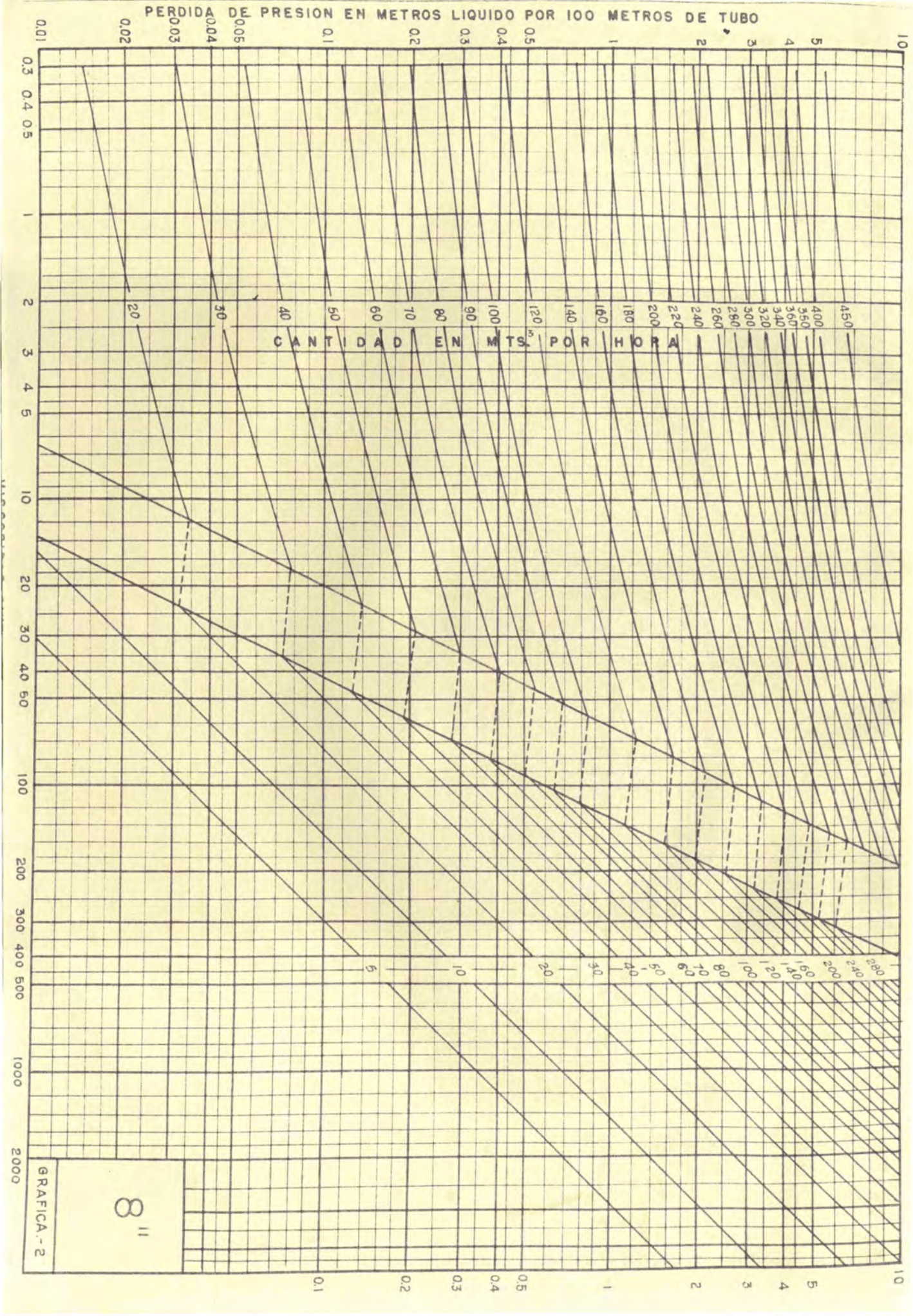
para diferentes gastos, fue necesario dividir el tramo en dos partes (Columna 1) P.R. $A_{12"}$ indica la parte de tubería de 12" y $A_{12"}-E_2$ la parte de tubería de 10"; el resto de la columna se explica por sí sola.

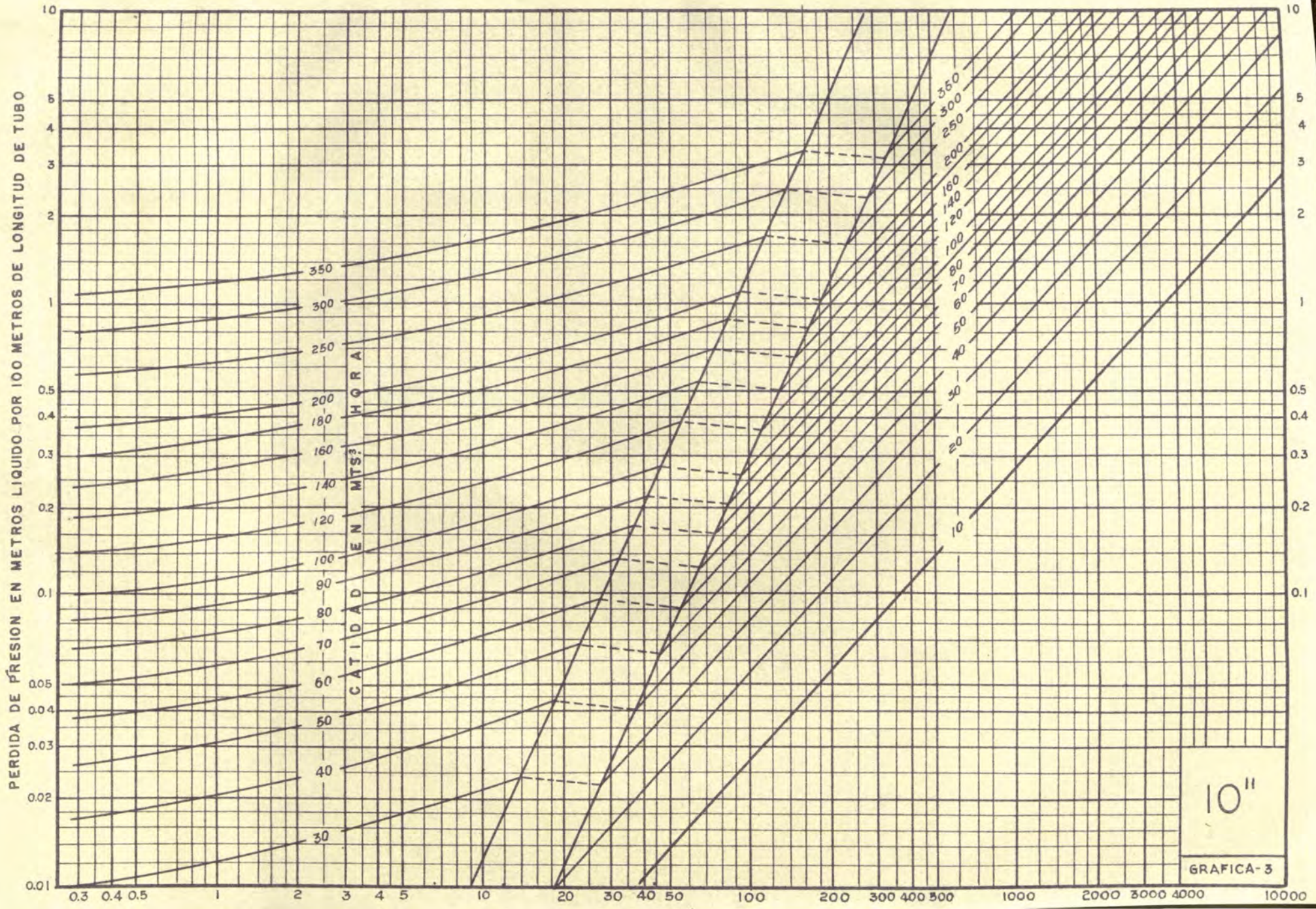
La pérdida de presión en metros líquidos por cada 100 metros de longitud de tubo (Columna 4a.) se calculó mediante el uso de los primeros nomogramas. (3 y 4). El empleo de estos nomogramas y la formación de las otras columnas es muy sencillo. Se entra con la viscosidad cinemática hasta encontrar la curva del gasto, el punto de intersección dá en la ordenada la pérdida de presión que, multiplicada por la longitud del tramo, dá la pérdida de presión por tramo en metros líquidos (Columna 6) los cuales sumados a los metros de desnivel dá la carga total por tramo en metros líquidos (Columna 8) y multiplicados por la densidad, dá la carga en columna de agua, que dividida entre 10 dá la presión en kilogramos por centímetro cuadrado (Columna 10) necesaria para vencer la carga.

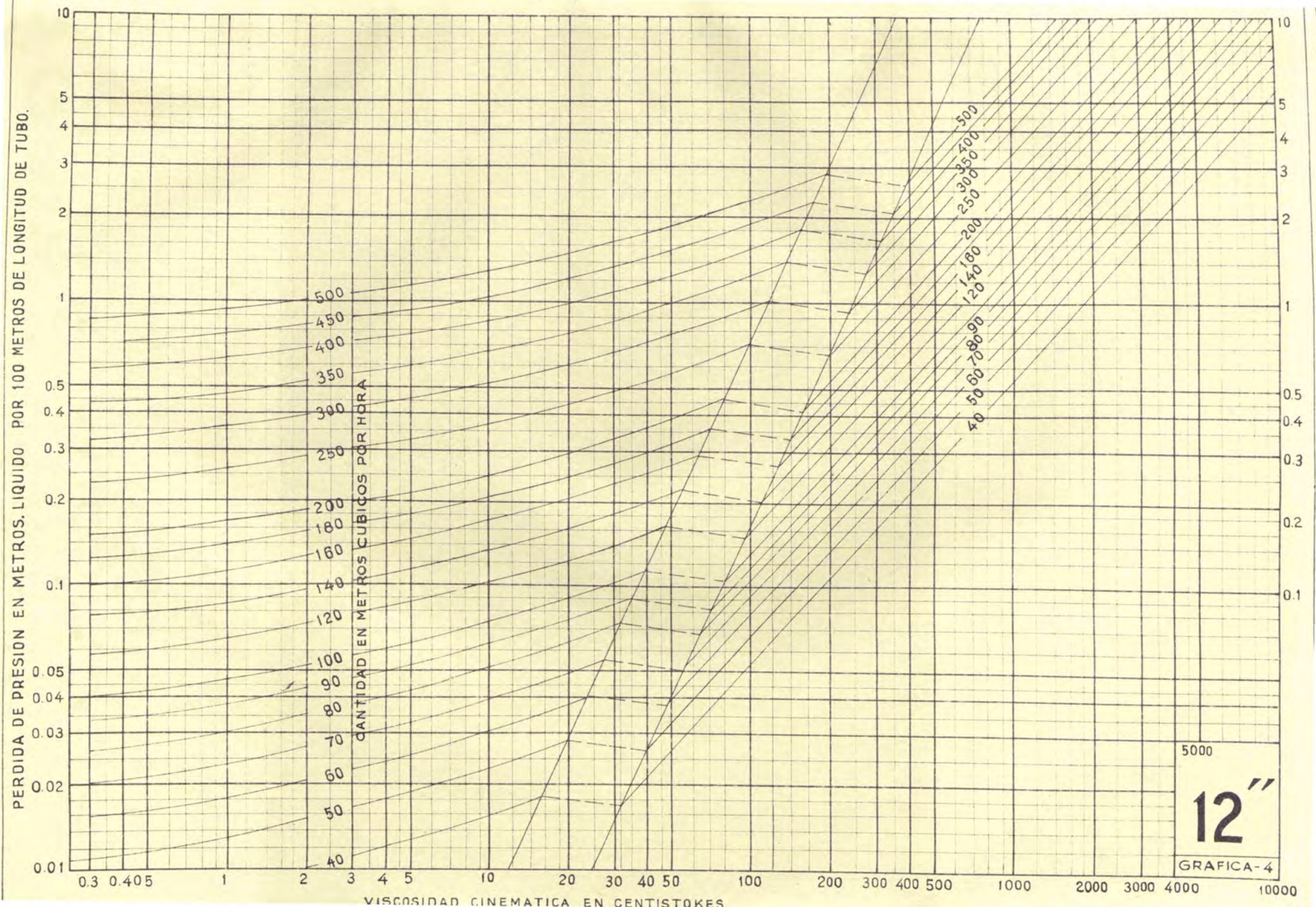
Las pérdidas de carga por fricción que hacen subir la presión a más de 800 libras por pulgada cuadrada, son disminuídas conectando tubos en paralelo.

Observando la Tabla I se ven inmediatamente los tramos que necesitan estos tubos.


PERDIDA DE PRESION EN METROS LIQUIDO POR 100 METROS DE LONGITUD DE TUBO
CANTIDAD EN MTS. POR HORA
VISCOSIDAD CINEMATICA EN CENTISTOKES
NOMOGRAMA-1
6"


PERDIDA DE PRESION EN METROS LIQUIDO POR 100 METROS DE TUBO
CANTIDAD EN MTS. POR HORA
GRAFICA - 2
8 11


PERDIDA DE PRESION EN METROS LIQUIDO POR 100 METROS DE LONGITUD DE TUBO
CATIDAD EN MTS³. HORA
10"
GRAFICA-3


PERDIDA DE PRESION EN METROS. LIQUIDO POR 100 METROS DE LONGITUD DE TUBO.
CANTIDAD EN METROS CUBICOS POR HORA
VISCOSIDAD CINEMATICA EN CENTISTOKES
10
5
4
3
2
1
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.3 0.4 0.5 1 2 3 4 5 10 20 30 40 50 100 200 300 400 500 1000 2000 3000 4000 5000 10000
500
450
400
350
300
250
200
180
160
140
120
100
90
80
70
60
50
40
12"
GRAFICA-4

GRAFICA Nº5

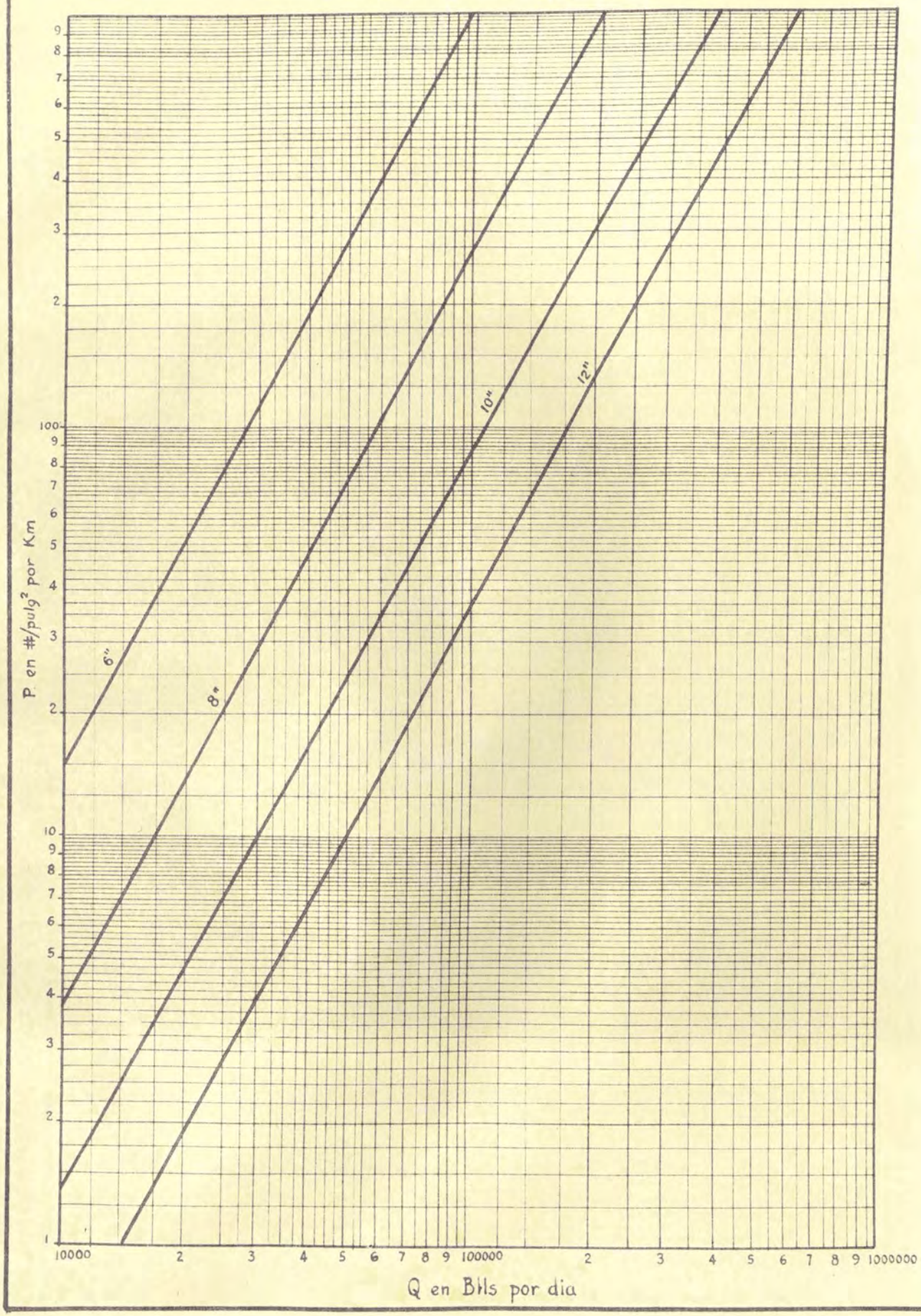

P en #/pulg² por Km
Q en Bbls por dia
6"
8"
10"
12"
10000
100000
1000000

TABLA I.

CALCULO DE PRESIONES DE BOMBEO.

Viscosidad cinemática - 24 centistokes.
Densidad - 0.87
Temperatura - 15°C

Tramo.	Gasto m³/h.	D. pulgada	Pérdida presión m.liq. pr.C-100 m Long. Tub.	Longitud km.	Pérdida presión por tramo m líquidos.	Desnivel m.	Carga total p.tramo.	Gasto en bb/día.	Presión de Bombeo kg/cm²	Presión de Bombeo lb/pulg²
P.R.-$A_{12"}$	150	12"	0.200	19.650	39.00	44.00	83.00	22.500	7.200	103
$A_{12"}$-E_2	150	10	0.450	35.858	162.00	368.00	530.00	22.500	46.200	660
PR-E2	150		-.---	55.508	201.00	412.00	613.00	22.500	53.400	763
P.R-$A_{12"}$	200	12	0.320	19.650	62.90	44.00	106.90	30.000	9.300	133
$A_{12"}$-E_2	200	10	0.750	35.858	268.00	368.00	636.00	30.000	55.500	792
ER-E_2	200		-.---	55.508	330.90	412.00	742.90	30.000	64.800	925
P.R.-A_{12}	250	12	0.470	19.650	92.30	44.00	136.30	37.500	11.900	170
A_{12}-E_2	250	10	1.150	35.858	413.00	368.00	781.00	37.500	68.000	970
P.R.-E_2	250		-.---	55.508	505.30	412.00	917.30	37.500	79.900	1140
P R-A_{12}	300	12	0.630	19.650	124.00	44.00	168.00	45.000	14.600	208
A_{12}-E_2	300	10	1.500	35.858	538.00	368.00	906.00	45.000	79.000	1130
P.R.-E_2	300		-.---	55.508	662.00	412.00	1074.00	45.000	93.600	1338

TABLA I. (Continuación).

Tramo	Gasto m^3/h	D. pulgada	Pérdida presión m.liq. pr.C/100 m.Long. Tub.	Longitud km.	Pérdida presión por tramo m líquidos.	Desnivel m	Carga total p.tramo.	Gasto en bb/día.	Presión d Boca Kg/cm²	lb/pulg²
E_4-E_5	300	10	1.500	9.67	145.00	407.00	552.00	45.000	48.000	687
E_4-E_5	350	10	2.000	9.37	216.20	407.00	623.20	52.500	54.200	778
E_5-E_6	150	10	0.450	10.81	48.60	434.00	482.60	22.500	42.000	600
E_5-E_6	200	10	0.750	10.81	81.00	434.00	515.00	30.000	44.800	641
E_5-E_6	250	10	1.150	10.81	124.50	434.00	558.50	37.500	48.500	693
E_5-E_6	300	10	1.150	10.81	162.10	434.00	596.10	45.000	51.700	740
E_5-E_6	350	10	2.000	10.81	216.20	434.00	650.20	52.500	56.600	810
E_6-E_7	150	10	0.450	10.40	46.70	309.00	355.70	22.500	31.000	444
E_6-E_7	200	10	0.750	10.40	78.00	309.00	387.00	30.000	33.600	480
E_6-E_7	250	10	1.150	10.40	119.50	309.00	428.50	37.500	37.300	532
E_6-E_7	300	10	1.500	10.40	156.00	309.00	465.00	45.000	40.500	578
E_6-E_7	350	10	2.000	10.40	208.00	309.00	517.00	52.500	45.000	645

TABLA I. (Continuación).

Tramo.	Gasto m^3/h.	Diam. pulg.	Pérdida presión m.liq. p.c/100 m. long. de tubo	Longitud Km.	Pérdida presión por tramo liq.	Desnivel m.	Cargo total por tramo	Gasto en bls/día.	Presión de Kg/cm^2	Bomba #/$pulg^2$
E_7-B_{10}	150	10	0.450	116	522.00	-241	218.0	22 500	24.4	344
B_{10}-R.Atz.	150	12	0.200	9	18.00	0	18.0	22 500	1.4	20
E_7-R Atz.	150	-	-	125	540	-241	299.0	22 500	25.8	364
E_7-B_{10}	200	10	0.750	116	870.0	-241	629	30 000	54.7	782
B_{10}-R.Atz.	200	12	0.320	9	28.8	0	28.8	30 000	2.5	36
E_7-R.Atz.	200	-	-	125	898.8	-241	657.8	30 000	57.2	818
E_7-B_{10}	250	10	1.150	116	1 330.0	-241	1 089.0	37 500	95.0	1360
B_{10}-R.Atz.	250	12	0.470	9	42.4	0	42.4	37 500	3.7	53
E_7-R.Atz.	250	-	-	125	1 372.4	-241	1 499.4	45 000		
B_{10}-R.Atz.	300	12	0.030	9	135	0	135.0	45 000		
E_7-R.Atz.	300	-	-	125	1 875 4	-241	1 634 4.	45 000		
E_7-B_{10}	350	10	2.000	116	2 320.0	-241	2 079.0	52 500		
B_{10}-R.Atz.	350	12	0.840	9	75.6	0	75.6	52 500		
E_7-R.Atz.	350	-	-	125	2 395.6	-241	2 154.6	52 500		

CALCULO DE LONGITUDES DE TUBO EN PARALELO.

Tramo: Poza Rica-Estación 2.

Q = 30 000 bls/día = 200 m^3/h.

Desnivel = 412 m.

Long. del tramo = 55 508 Kms.

La longitud del tramo está formada por:

a).- 19.650 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de doble tubería de 10 pulgadas.

c).- 35.858 - x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Pérdida de carga por fricción.

TUBERIAS.	Pérdida por Km. en m. líquido.
1).- En tubería de 12 pulgadas.	3.2
2).- En doble tubería de 10 pulgadas.	2.3
3).- En tubería sencilla de 10 pulgadas.	7.5

La presión máxima de bombeo permitida es de 800 libras por pulgada cuadrada (56 Kg/cm^2), la cual convertimos en columna líquida:

$$560/0.87 = 645 \text{ m.}$$

Igualando esta carga con todas las que hay que vencer en todo el tramo tenemos una ecuación sencilla:

$$645 = 412 + 19.650 \times 3.2 + 2.3\,x + 7.5(35.858 - x)$$

$x = \underline{18.800 \text{ Kms.}}$ longitud de tubo en paralelo.

TRAMO ESTACION 7 REFINERIA ATZCAPOTZALCO.

Q = 30 000 bls/día = 200 m^3/h.

Desnivel = 241 m.

Longitud del tramo 125 Kms.

La longitud del tramo está formada por:

a).- 9 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 116 - x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 3.2x9 + 2.3x + 7.5\ (116-x) = 241.$$

$$x = \frac{12.8}{5.2} = \underline{2.460\ \text{Kms.}}$$

Resumiendo:

Para ampliar la capacidad del oleoducto a 30 000 bls/día se necesita conectar tubos en paralelo en los tramos:

Poza Rica-Estación 2	18.800 Kms.
Estación 7- Refinería Atzcapotzalco	2.460 "
T o t a l	21.260 Kms.

Son 21.260 Kms. de tubería en paralelo.

PARA 37 500 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Poza Rica-Estación 2.

$Q = 250\ m^3/h.$

Desnivel = 412 m.

Long. del tramo = 55.508 Kms.

La longitud del tramo está formada por:

a).- 19.650 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 35.508-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

<u>Pérdidas de carga por fricción.</u>

TUBERIAS.	Pérdida por Km. en m. líquido.
1).- En tubería de 12 pulgadas.	4.7
2).- En tubería doble de 10 pulgadas.	3.3
3).- En tubería sencilla de 10 pulgadas.	11.5

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 412 + 4.7 \times 19.650 + 3.3x + 11.5(35.858 - x)$$

$$x = \frac{272.5}{8.2} = \underline{33\ Kms.}$$

PARA 37 500 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Estación 7 -Refinería Atzcapotzalco.

$Q = 250\ m^3/h$.

desnivel = 241 m.

Long. del tramo = 125 Kms.

La longitud del tramo está formada por:

a).- 9 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 116-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 4.7x9 + 3.3x + 11.5(116-x)-241.$$

$$x = \frac{448}{8.2} = 54.500.$$

En resumen, para ampliar a 37.500 bls/día se necesitan:

Poza Rica-Estación 2	33.000 Kms.
Estación 7-Refinería Atzcapotzalco	54.500 "
T o t a l	87.500 Kms.

Son 87.500 Kms. de tubería en paralelo.

PARA 45 000 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Poza Rica-Estación 2.

$Q = 300\ m^3/h.$

Desnivel = 412 m.

Long. del tramo = 55 508 Kms.

La longitud del tramo está formada por:

a).- 19.650 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 35.508-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Pérdidas de cargo por fricción.

TUBERIAS.	Pérdidas por Kms. en m. líquido.
1).- En tubería de 12 pulgadas.	6.3
2).- En tubería doble de 10 pulgadas.	4.5
3).- En tubería sencilla de 10 pulgadas.	15.0

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 6.3x19.650 + 4.5x + 15(35.858-x) + 412.$$

$$x = \frac{423}{10.5} = \underline{40.300\ Kms.}$$

PARA 45 000 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Estación 3 -Estación 4.

$Q = 300\ m^3/h.$

Desnivel = 443 m.

Long. del Tramo: 18.300 Kms.

La longitud del tramo queda formado por:

a).- x Kms. de doble tubería de 10 pulgadas.

b).- 18.300-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 4.5x + (18.300 - x)15 + 443.$$

$$x = \frac{73}{10.5} = \underline{6.93\ Kms.}$$

PARA 45 000 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Estación 7 - Refinería Atzcapotzalco.

$Q = 300\ m^3/h$.

Desnivel = 341 m.

Long. del tramo = 125 Kms.

La longitud del tramo queda formada por:

a).- 9 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 116-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 6.3x9 + 4.5x + 15(116-x) - 241.$$

$$x = \frac{910.7}{10.5} = \underline{87\ Kms.}$$

En resumen, para ampliar a 45.000 bls./día se necesitan:

Poza Rica-Estación 2	40.300 Kms.
Estación 3 -Estación 4	6.930 "
Estación 7 - Refinería Atzcapotzalco	87 000 "
T o t a l	134 230 Kms.

Son 134.230 Kms. de tubería en paralelo.

PARA 52 500 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Poza Rica-Estación 2.

$Q = 350\ m^3/h.$

Desnivel = 412 m.

Long. del tramo = 55.508.

La longitud del tramo queda formada por:

a).- 19.650 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 35.508-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Pérdidas de carga por fricción.

TUBERIAS.	Pérdida por Kms. en m. líquido.
1).- En tubería de 12 pulgadas.	8.4
2).- En tubería doble de 10 pulgadas.	5.8
3).- En tubería sencilla de 10 pulgadas.	20.0.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 8.4 \times 19.650 + 58x + 20(35.508 - x) + 412.$$

$$x = \frac{647}{14.2} = 45.500 \text{ Kms.}$$

PARA 52 500 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Poza Rica-Estación 2.

$Q = 350\ m^3/h.$

Desnivel = 412 m.

Long. del tramo = 55.508.

La longitud del tramo queda formada por:

a).- 19.650 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 35.508-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Pérdidas de carga por fricción.

TUBERIAS.	Pérdida por Kms. en m. líquido.
1).- En tubería de 12 pulgadas.	8.4
2).- En tubería doble de 10 pulgadas.	5.8
3).- En tubería sencilla de 10 pulgadas.	20.0.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 8.4 \times 19.650 + 58x + 20(35.508 - x) + 412.$$

$$x = \frac{647}{14.2} = \underline{45.500\ \text{Kms.}}$$

PARA 52 500 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Estación 3 - Estación 4.

$Q = 350\ m^3/h$.

Desnivel = 443 m.

Long. del tramo 18.300 Kms.

La longitud del tramo queda formada por:

a).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

b).- 18.300-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 5.8x + 20(18.300-x) + 443.$$

$$x = 164/14.2 = \underline{11.5\ Kms.}$$

PARA 52 500 BARRILES DIARIOS.

Tramo: Estación 7 - Refinería Atzcapotzalco.

$Q = 350\ m^3/h.$

Desnivel = -241 m.

Long. del tramo = 125 Kms.

La longitud del tramo queda formada por:

a).- 9 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

b).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

c).- 116-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 8.4x9 + 5.8x + 20(116-x) - 241.$$

$$x = \frac{1508.7}{14.2} = \underline{106.300\ Kms.}$$

En resumen, para ampliar a 52.500 bls./día se necesitan:

Poza Rica-Estación 2	45.500 Kms.
Estación 3-Estación 4-	11.500 "
Estación 7-Refinería Atzcapotzalco	106.300 "
T o t a l	163.300 Kms.

Son 163.300 Kms. de tubería en paralelo.

De los cálculos anteriores se ve que para los diferentes gastos (de 30 000 a 52 500 bls./día) se necesitan las siguientes longitudes de tubería de 10 pulgadas:

30 000 bls/día	.....	21.260 Kms.
37 500 "	.....	87.500 "
45 000 "	.....	134.230 "
52 500 "	.....	163.300 "

Aunque se dijo anteriormente que la ampliación por el método de tubos en paralelo se hará bajo la base de tubería de 10 pulgadas, a título ilustrativo haré el cálculo empleando tubería de 8 pulgadas.

Tramo: Poza Rica-Estación2.
Q = 30 000 bls/día =200 m3/h.
Desnivel = 412 m.
Long. del tramo = 55.508 m.

La longitud del tramo está formada por:

a).- 19.650 Kms. de tubería de 12 pulgadas.
b).- x Kms. de tubería de 8 pulgadas.
c).- 35.858-x Kms. de tubería de 10 pulgadas.

Distribución del gasto en el tramo en paralelo.

$Qt = 200\ m^3/h$. (gasto total).

$q =$ Gasto en la tubería de 8 pulgadas ($d = 8"$)

$Q =$ " " " " " 10 " ($D = 10"$)

De la ecuación (1) puede escribirse la siguiente relación:

$$q/Q = \left(\frac{d}{D}\right)^{2.715}$$; reemplazando valores, tenemos:

$$q/Q = \left(\frac{8}{10}\right)^{2.715} = 0.54$$

$$Qt = q + Q = 200 \quad (2)$$

$q = 0.54\ Q$, reemplazando q. por su valor $0.54\ Q$ en la ecuación (2), se puede escribir:

$$Q + 0.54Q = 200$$

$$Q = \frac{200}{1.54} = 130\ m^3/h.$$

$$q = 200 - 130 = 70\ m^3/h.$$

Pérdidas de carga por fricción.

T U B E R I A S.	Pérdidas por Kms. m. líquido.
En tubería de 10 pulg. con $Q = 130\ m^3/h$	3.5
" " " 8 " " $q = 70$ "	3.5
" " " 10 " " $Qt = 200$ "	7.5

Con lo cual:

$$645 = 412 + 19.650x3.2+3.5x+(35.858-x)7.5$$

$$x = \frac{98}{4} = \underline{25.500 \text{ Kms.}}$$

COSTO DE TUBERIA Y MANO DE OBRA.

T A B L A XI.

Gasto bb/día.	Diam. pulg.	Material por m. lineal. $	Mano de obra por m. lineal $	Total por m. lineal. $	Longitud total m	Costo total. $
30 000	10"	40.oo	10.oo	50.oo	21 260	1 063 000.oo
37 500	10"	40.oo	10.oo	50.oo	87 500	4 375 000.oo
45 000	10"	40.oo	10.oo	50.oo	134 230	6 711 500.oo
52 500	10"	40.oo	10.oo	50.oo	163 300	8 165 000.oo

CALCULO DE ENERGIA ELECTRICA.

TABLA XII.

Estación	Gasto bbl/día	Presión de Bom lb/Pulg^2	H.P. Teórica	B	H.P. Flecha del motor.	K.W.	m	K.W. por bomba	15% Pérd y Consumo	# de bombas	K.W. por Estación	K.W.H/día	Costo anual energía. $ 0.03 KWH.
E_2	30 000	585	75	0.9	83	62	0.9	69	11	1	80	1920	4579000 KWH/año x0.03
E_3	30 000	721	92		102	76	0.9	85	13	1	98	2350	$ 137 270 anual
E_4	30 000	595	76		85	63		70	11	1	81	1940	
E_5	30 000	641	82		91	68		76	12	1	88	2120	
E_6	30 000	480	61		68	51		57	9	1	66	1585	
E_7	30 000	800	102		114	85		94	15	1	109	2630	
									Total			12545	
E_2	37 500	610	78		87	65		72	11	2	166	3980	9750000 KWH/año x0.03
E_3	37 500	800	102		114	85		94	15	2	218	5260	$ 292 500 anual.
E_4	37 500	645	83		92	69		77	12	2	178	4270	
E_5	37 500	693	89		99	74		82	13	2	190	4560	
E_6	37 500	532	68		76	57		64	7	2	142	3410	
E_7	37 500	800	102		114	85		94	15	2	218	5260	
									Total			26740	

CALCULO DE ENERGIA ELECTRICA. (Continuación)

TABLA XII.

Estación	Gasto bls/día	Presión de bomba lb/Pulg^2	H.P. Teórica	B	H.P. Flecha del motor	KW	m	KW por Bomb	15% pérd y consumo.	#de bombas	K.W. por Estación	KWH/día	Costo anual energía $ 0.03 KWH.
E_2	45 000	633	81	0.9	90	67	0.9	75	11	3	258	6210	
E_3	45 000	800	102		114	85		94	15	3	327	7890	14820000 KWH/año x0.03
E_4	45 000	687	69		77	58		65	10	3	225	5400	$ 444 600 anual.
E_5	45 000	740	95		106	79		88	15	3	309	7410	
E_6	45 000	578	75		84	63		70	11	3	243	5810	
E_7	45 000	800	102		114	85		94	15	3	327	7890	
									Total			40610	
E_2	52 500	661	84		94	70		78	12	4	360	8640	
E_3	52 500	800	102		114	85		94	15	4	436	10405	25100000 KWH/año x0.03
E_4	52 500	778	99		111	82		91	14	4	420	10100	$ 753 000 anual.
E_5	52 500	800	102		114	85		94	15	4	436	10405	
E_6	52 500	645	82		91	68		76	12	4	362	8690	
E_7	52 500	800	102		114	85		94	15	4	436	10405	
									Total			68645	

$$H.P. = \frac{PQ}{2450}$$

P- Pérdida de presión en lb/Pulg.^{2}
Q- Gasto en bls/día.

COSTO ESTACIONES.

TABLA IV.

Gasto bls/día.	Costo de 1 bomba de 7500 bls y 800 lb. pulg^2 $	Costo Instalación y accesorio incluyendo cimentación. $	Costo ampliación casas de bombas por c/bomba $	Costo almacenamiento por c/7500 bls. a $5.oo barril 50% $	Suma de costos por c/ bomba adicional. $	No. de bombas	Costo total.
30 000	62 000	5 000	2 500	18 750	88 250	6	529 500
37 500	62 000	5 000	2 500	18 750	88 250	12	1 059 000
45 000	62 000	5 000	2 500	18 750	88 250	18	1 588 500
52 500	62 000	5 000	2 500	18 750	88 250	24	2 118 000

COSTO ANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

TABLA V.

Gasto bls/día.	Salarios.	Mantenimiento y lub. Est. 1% Sost. Est. $	Conservación tubería 2% costo $	Energía eléctrica $	Costo total de operación y mantenimiento. $
30 000	---	5295	21 260	137 270	163 825
37 500	---	10590	87 500	292 500	390 590
45 000	---	15885	134 230	444 600	594 715
52 500	---	21180	163 300	753 000	937 480

MONTO DE INVERSIONES.

TABLA VI.

Gasto bls-día.	Costo Estaciones $	Costo tubería. $	Suma.	Imprevistos 15%	Costo total.
30 000	529 500	1 063 000	1 592 500	138 875	1 731 375
37 500	1 059 000	4 375 000	5 434 000	815 100	6 249 100
45 000	1 588 500	6 711 500	8 300 000	1 295 000	9 595 000
52 500	2 118 000	8 165 000	10 283 000	1 542 950	11 825 950

CALCULO DE AMORTIZACION E INTERES. TABLA VII.

Gasto en bls.-día.	15% Valor de rescate.	Capital por amortizar	Amortización anual 10%	Interés del capital 8%.
30 000	259 705	1 471 665	147 166	69 255
37 500	937 365	5 311 735	531 173	249 964
45 000	1 439 250	8 155 750	815 575	383 800
52 500	1 773 892	10 052 058	1 005 206	473 038

El cálculo de interés y amortización del capital invertido está hecho bajo la base de una duración de diez años.

Considerando el grado de precisión de esta clase de cálculos, es que éstos se han llevado en la forma expuesta en la tabla VII. Sin embargo, en rigor, cuando se ha fijado el interés (R) del capital y el número de años de vida del oleoducto (N), se puede determinar la depreciación (A), es decir la cantidad anual que hay que separar para que puesta al interés compuestos con un tipo R, en N años permita reunir un capital igual a la diferencia entre la inversión inicial, menos el valor que tengan las instalaciones al cabo de N años. La fórmula que liga a A, R y N en esas condiciones es:

$$A = \frac{R}{(1+R)^N - 1}.$$

COSTO TOTAL DE OPERACION POR BARRIL.

TABLA VIII.

Gasto bbls-día.	Amortización anual.	Interés del capital	Costo anual operación y mantenimiento	Suma $	Barriles por año	Costo por barril. $
30 000	147 166	69 255	163 825	380 246	2 737 500	0.139
37 500	531 173	249 964	390 590	1 172 727	5 475 000	0.214
45 000	815 575	383 800	594 715	1 794 090	8 212 500	0.218
52 500	1 005 206	473 038	937 480	2 415 724	10 950 000	0.221

AMPLIACION POR EL METODO DE NUEVAS ESTACIONES.

Siguiendo el método esbozado anteriormente, los cálculos para la ampliación por este sistema empiezan en la tabla No. IX; en ella se ve que para ampliar a 30 000 bls/día (200 m^3/h) en el primero y último tramo, se han agregado las estaciones E_1 y E_8 respectivamente. Su localización se hizo por el método gráfico, mostrando en la gráfica #6, (donde las líneas de "gradiente hidráulico" intersectan el perfil del terreno en el lugar de una nueva estación).

Para una mejor repartición de las cargas, se recorrieron las localizaciones de las Estaciones E_1 y E_8 a los puntos de intersección del gradiente, con un gasto de 37 500 bls/día (250 m^3/h). Con esto se consigue, además de la ventaja arriba anotada, el no tener que hacer ninguna modificación costosa para dos etapas de ampliación.

Para 45 000 bls/día (300 m^3/h), además de las Estaciones E_1 y E_8 se han agregado dos más: E_{3_1} y E_{7_1}, distribuídas en tal forma que sirvan para la próxima etapa de ampliación.

COSTO DE LAS ESTACIONES PARA AMPLIAR LA CAPACIDAD DEL OLEOMUCTO POZA RICA-ATZCAPOTZALCO.

PARA 30 000 BARRILES DIARIOS.

Est.	Cantidad	Descripción.	Precio Unitario	Precio total
1	4	Bombas de émbolo, horizontales de 7 500 bls/día y 800 lb/pulg^2 con accesorios....	$ 62 000.00	248 000.00
"	4	Instalación de las bombas anteriores incluyendo cimentación.....	5 000.00	20 000.00
"	1	Casa de Bomba y accesorios, para una estación de 30 000 barriles diarios de capacidad.....		12 000.00
"	2	Transformadores trifásicos de 300 Kva. y accesorios completos y su instalación....	29 000.00	58 000.00
"	1	Casas para obreros y demás servicio.....		15 000.00
"	1	Tanque almacenamiento 50% de la capacidad diaria, en este caso 15 000 barriles a	5.00	75 000.00
		S u m a	$	428 000.00
		Costo de la estación 8, igual al costo de la Estación 1.....		428 000.00
		En la tabla IV se tiene el costo de ampliación de las estaciones 2, 3, 4, 5, 6 y 7		529 000.00
		Costo total de las nuevas estaciones y ampliación de las actuales.....		1 385 000.00
		Imprevistos 15%		207 750.00
		Gran total:	$	1 592 750.00

COSTO DE LAS ESTACIONES PARA AMPLIAR LA CAPACIDAD DEL OLEUDUCTO POZA RICA-ATZCAPOTZALCO.

PARA 37 500 BARRILES DIARIOS.

Est.	Cantidad	Descripción.	Precio Unitario	Precio total
1	5	Bombas horizontales de émbolo de 7 500 bls/día y 800 lb/pulg² con accesorios completos.....	$ 62 000.00	310 000.00
1	5	Instalación de bombas anteriores, incluyendo cimentación.....	5 000.00	25 000.00
1		Casa de Bombas y accesorios para una estación de 37 500 bls. diarios de capacidad.....		14 500.00
1	2	Transformadores trifásicos de 300 Kva. accesorios completos y su instalación.....	29 000.00	58 000.00
1		Casas para obreros y demás servicio.....		15 000.00
1		Tanque almacenamiento 50% de la capacidad diaria, en este caso 17 500 barriles a	5.00	87 500.00
		S u m a $		510 000.00
		Costo de la Estación 8, igual al de la Estación 1.....		510 000.00
		En la tabla IV se tiene el costo de ampliación de las 6 estaciones intermedias restantes.....		1 059 000.00
		S u m a ..		2 079 000.00
		Imprevistos 15%		311 850.00
		Gran Total :		2 390 850.00

COSTO DE LAS ESTACIONES PARA AMPLIAR LA CAPACIDAD DEL OLEODUCTO POZA RICA-ATZCAPOTZALCO.

PARA 45 000 BARRILES DIARIOS.

Estación	Cantidad.	Descripción.	Precio Unitario	Precio total
1	6	Bombas horizontales de émbolo de 7 500 bls/día y 800 lb pulg^2 con accesorios completos..	$ 62 000.00	372 000.00
1	6	Instalación de bombas anteriores incluyendo cimentación.....	5 000.00	30 000.00
1		Casa de bombas y accesorios para una estación de 45 000 barriles de capacidad.....		17 000.00
1	2	Transformadores trifásicos de 300 Kva, accesorios completos y su instalación.....	29 000.00	58 000.00
1		Casas para obreros y demás servicios.....		15 000.00
1		Tanque almacenamiento 50% de la capacidad diaria en este caso 22 500 bls. a.....	5.00	112 500.00
		S u m a ...		604 500.00
Las Estaciones 3_1-7_1-8 tienen el mismo costo.....				1 813 500.00
		S u m a ...		2 418 000.00
En la Tabla IV se tiene el costo de ampliación de las 6 estaciones intermedias restantes.....				1 588 500.00
		S u m a ...		4 006 500.00
		15% Imprevistos		600 025.00
		Gran total:		4 606 525.00

CALCULO DE LONGITUDES DE TUBOS EN PARALELO EN LOS TRAMOS E_{7_1} - E_8- y E_8 Refinería ATZCAPOTZALCO PARA UN GASTO DE 52 500 BARRILES DIARIOS.

$Q = 350\ m^3/h.$

Tramo E_{7_1}-E_8 Desnivel = 288.9 m.

Longitud = 49.5 m.

La longitud del tramo queda formada por:

a).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

b).- 49.5 -x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

<u>Pérdidas de carga por fricción.</u>

T U B E R I A S .	Pérdidas por Kms. en m. líquido.
1).- En tubería doble de 10 pulgadas.	5.8
2).- En tubería sencilla de 10 pulgadas	20.
3).- En tubería sencilla de 12 pulgadas.	8.4

Con lo cual se puede escribir:

$$645 = 5.8x + 20(49.5-x) - 288.9$$

$$x = \frac{46.1}{14.2} = \underline{3.250\ Kms.}$$

CALCULO DE LONGITUDES DE TUBOS EN PARALELO EN EL TRAMO E_8 REFINERIA ATZCAPOTZALCO PARA UN GASTO DE 52 500 BARRILES DIARIOS.

Desnivel - 5 m.

Longitud- 42 500 Kms.

La longitud del tramo queda formada por:

1).- 9 Kms. de tubería de 12 pulgadas.

2).- x Kms. de tubería doble de 10 pulgadas.

3).- 33.5-x Kms. de tubería sencilla de 10 pulgadas.

Con lo cual se puede escribir:

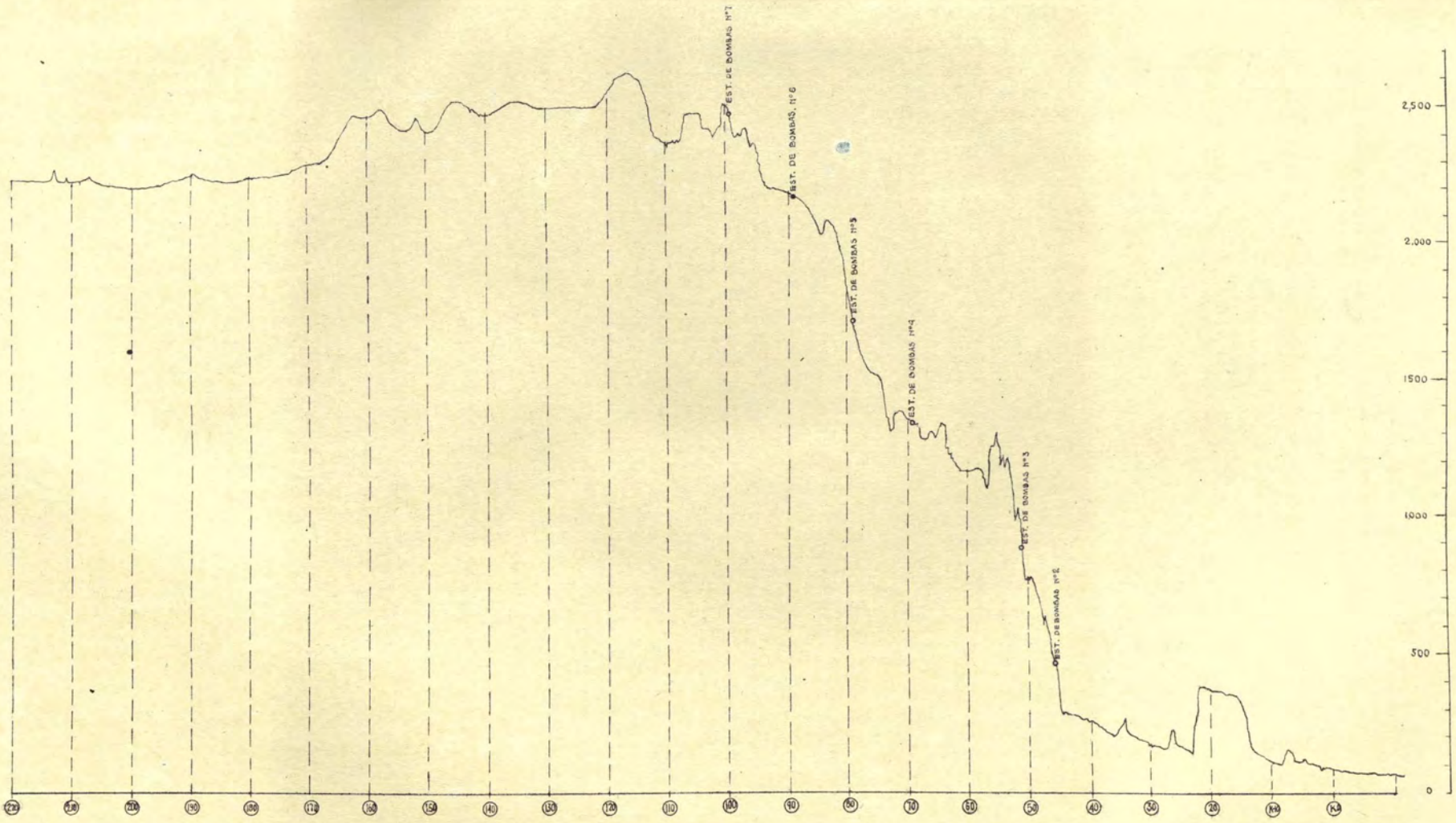
$$645 = 9 \times 8.4 + 5.8x + 20\,(33.5-x) - 5.0$$

$$x = \frac{745.6-650}{14.2} = \underline{6.700 \text{ Kms.}}$$

COSTO DE LAS ESTACIONES PARA AMPLIAR LA CAPACIDAD DEL OLEODUCTO POZA RICA ATZCAPOTZALCO.

PARA 52 500 BARRILES DIARIOS.

Estación	Cant.	Descripción.	Precio Unitario.	Precio total
1	7	Bombas horizontales de émbolo de 7 500 bls/día y 800 lb/pulg^2 con accesorios.....	$ 62 000.00	434 000.
1	7	Instalación de las bombas anteriores, incluyendo cimentación.....	5 000.00	35 000.
1		Casa de bombas y accesorios para una estación de 52 500 bls. de capacidad.....		19 500.
1	2	Transformadores trifásicos de 300 Kva. accesorios completos y su instalación...	29 000.00	58 000.
1		Casas para obreros y demás servicio.....		15 000.
1		Tanque almacenamiento 50% de la capacidad diaria, en este caso: 30 000 bls. a	5.00	150 000.
		S u m a		711 500.
La Estación 3 tiene el mismo costo...				711 500.
Las Estaciones 7, y 8 están aumentadas en el costo cada una por la adición de un transformador por Estación				1 481 000.
9 950 Kms. de tubería en paralelo, mano de obra y material.....			50 000.00	497 500.
		S u m a		3 401 500.
En la tabla IV se tiene el costo de ampliación de las estaciones intermedias restantes.....				2 118 000.
		Gran total... $		5 519 500.



PERFIL POZA-RICA ATZCAPOTZALCO

JPA

CALCULO DE PRESIONES DE BOMBA.

TABLA IX.

Tramo.	Gasto m^3/h.	Diam. pulg.	Pérdida presión p.fricción m.liq.p. c/100 m.long de tubo.	Longitud Km.	Pérdidas presión por fricción por tramo m. liq.	Desnivel m	Carga total por tramo	Gasto en bls/día	Presión Kg/cm	Bomba $lb/pulg^2$
E_1-E_2	200	10	0.750	25.508	192	122.2	314.2	30 000	27 300	390
E_7-E_8	200	10	0.750	81.500	610	-255.5	354.5	30 000	30 800	440
E_8-B_{10}	200	10	0.750	33.500	252	- 5	247	30 000	21.500	307
B_{10}-R.Atz.	200	12	0.320	9	28.8	o	28.8	30 000	2.500	36
E_8-R.Atz.	200	-	--	42.500	280.8	- 5	275.8	30 000	24 000	343
E_1-E_2	250	10	1.150	25.508	295	122.2	417.2	37 500	30.300	518
E_7-E_8	250	10	1.150	81.500	940	-255.5	684.5	37 500	59.500	850
E_8-B_{10}	250	10	1.150	33.500	385	- 5	380	37 500	33.100	472
B_{10}-Ref Atz	250	12	0.470	9	42.3	o	42.3	37 500	3.800	54
E_8-R.Atz.	250	-	--	42.500	427.3	- 5	422.3	37 500	36.900	526
E_1OE_2	300	10	1.500	25.508	383.0	122.2	505.2	45 000	44.000	630
E_3-E_3	300	10	1.500	9.304	139.6	260.5	400.1	45 000	34.700	496
E_{31}-E_4	300	10	1.500	9	135.o	182.5	317.5	45 000	27 600	394
E_7-E_{71}	300	10	1.500	32	480	33.3	513	45 000	44.600	640
E_{71}OE_8	300	10	1.500	49.5	742.5	288.9	453.6	45 000	39.500	564

CALCULO DE PRESIONES DE BOMBA (Continuación).

TABLA IX.

Tramo.	Gasto m^3/h.	Diam. pulg.	Pérdida presión p.fricción m.liq.p c/100 m.long de tubo.	Longitud Km.	Pérdidas presión por fricción por tramo m.liq.	Desnivel m.	Carga total por tramo	Gasto en bbls/día	Presión Kg/cm	Bomba lb/pulg^2
E_8-B_{10}	300	10	1.500	33.500	502.5	-5	497.5	45 000	43.300	618
B_{10}-R. Atz.	300	12	0.630	9	56.7	0	56.7	45 000	4.900	70
E_8-R.Atz.	300	-	--	42 500	559.2	-5	554.2	45 000	48.200	688
E_1-E_2	350	10	2.000	25 508	511	122.2	633.2	52 500	55 200	751
E_3-E_3	350	10	2.000	9 304	139.6	260.5	446.1	52 500	39 000	558
E_3-E_4	350	10	2.000	9 000	180	182.5	362.5	52.500	31 500	450
E_7-E_{71}	350	10	2.000	32 000	640	33.3	673.3	52 500	58 500	833
E_{71}-E_8	350	10	2.000	49.500	990	-288.9	701.1	52 500	61 000	870
E_8-B_{10}	350	10	2.000	33.500	670	-5	665	52 500	57 800	825
B_{10}-R.Atz.	350	12	0.830	9	74.8	0	74.8	52 500	6 500	93
E_8-R.Atz.	350	--	--	42 500	744.8	-5	739.8	52 500	64 300	918

Estación	Gasto bls/día	Presión de bombeo lb/pulg²	H.D. Teórica	B	H.P. flecha del motor	K.W.	m	KW por bomba	15% Pérdida y consumo	No. de bombas	KW. por estación	KWH/día	KWH/año
1	30 000	390	50	0.9	56	42	0.9	47	7	4	216	5184	1 890 000
7	30 000	440	56		62	46		51	8	1	51	1224	446 000
8	30 000	343	44		49	37		41	6	4	188	4512	1 650 000
1	37 500	518	66		74	55		61	9	5	350	8400	3 065 000
7	37 500	800	102		114	85		94	15	2	218	5232	1 915 000
8	37 500	526	67		75	56		62	10	5	360	8640	3 160 000
1	45 000	630	80		89	67		75	12	6	522	12528	4 570 000
3	45 000	496	63		70	52		58	9	3	201	4824	1 760 000
3_1	45 000	394	50		56	42		47	8	6	330	7920	2 880 000
7	45 000	460	82		91	68		76	12	3	234	5616	2 050 000
7_1	45 000	564	72		80	60		67	10	6	462	11088	4 050 000
8	45 000	688	87		97	72		80	12	6	552	13248	4 840 000
1	52 500	751	96		107	80		89	14	7	721	17304	6 310 000
3	52 500	558	71		80	60		67	11	4	312	7488	2 730 000
3_1	52 500	450	58		65	49		15	9	7	448	10752	3 920 000
7	52 500	800	102		114	85		94	15	4	436	10464	3 840 000

CALCULO DE ENERGIA ELECTRICA. (Continuación).

tA B L A X.

Estación	Gasto bls/día	Presión de bomba lb/pulg^2	HP Teórica	B	H.P.Flecha del motor	K.W	m	KW por bomba	15% Pérdida y consumo	# de bomba	KW por estación	KWH/día	KWH/año
7	52 500	800	102	0.9	114	85	0.9	94	15	7	763	18 312	6 700 000
8	52 500	800	102		114	85		94	15	7	763	18312	6 700 000

MONTO DE INVERSIONES. TABLA XI.

Gasto bls/día.	Costo Estaciones. $	15% Imprevistos. $	Costo Total. $
30 000	1 385 000.oo	207 750.oo	1 592 750.oo
37 500	2 079 000.oo	311 850.oo	2 390 850.oo
45 000	4 006 500.oo	600 025.oo	4 606 525.oo
52 500	5 519 500.oo	827 925.oo	6 347 425.oo

CALCULO DE INTERES Y AMORTIZACION. TABLA XII.

Gasto bls/día.	15% valor de rescate	Capital por amortizar	10% amortización anual.	8% interés del capital.
30 000	238 912.oo	1 353 838.oo	159 275	63 710
37 500	358 627 oo	2 032 223.oo	239 085	95 630
45 000	690 979.oo	3 915 546 oo	460 652	184 261
52 500	952 114.oo	5 395 311.oo	634 742	253 897

COSTO ANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO. TABLA XIII.

Gasto bls/día.	Salarios.	Mantenimiento y lub. Est. 1%	Energía Eléctrica	Costo total de operación y mantenimiento.
30 000	34 258	15 927	228 149	278 334
37 500	34 258	23 908	479 400	537 566
45 000	68 516	46 065	877 500	992 081
52 500	68 516	63 474	1 430 100	1562 090

COSTO TOTAL DE OPERACION POR BARRIL.

TABLA XIV.

Gasto.	Amortización anual	Interés del Capital.	Costo anual de operación y mantenimiento	Suma.	Barriles por año	Costo total por barril. $
30 000	159 275.00	63 710.00	278 334.00	501 319.00	2.737 500	0.183
37 500	239 085.00	95 630.00	537 556.00	872 271.00	5 475 000	0.173
45 000	460 652.00	184 261.00	992 081.00	1 636 994.00	8 212 500	0.199
52 500	634 742.00	253 897.00	1 562 090.00	2 450 729.00	10 950.000	0.225

CASO DE UNA NUEVA LINEA.

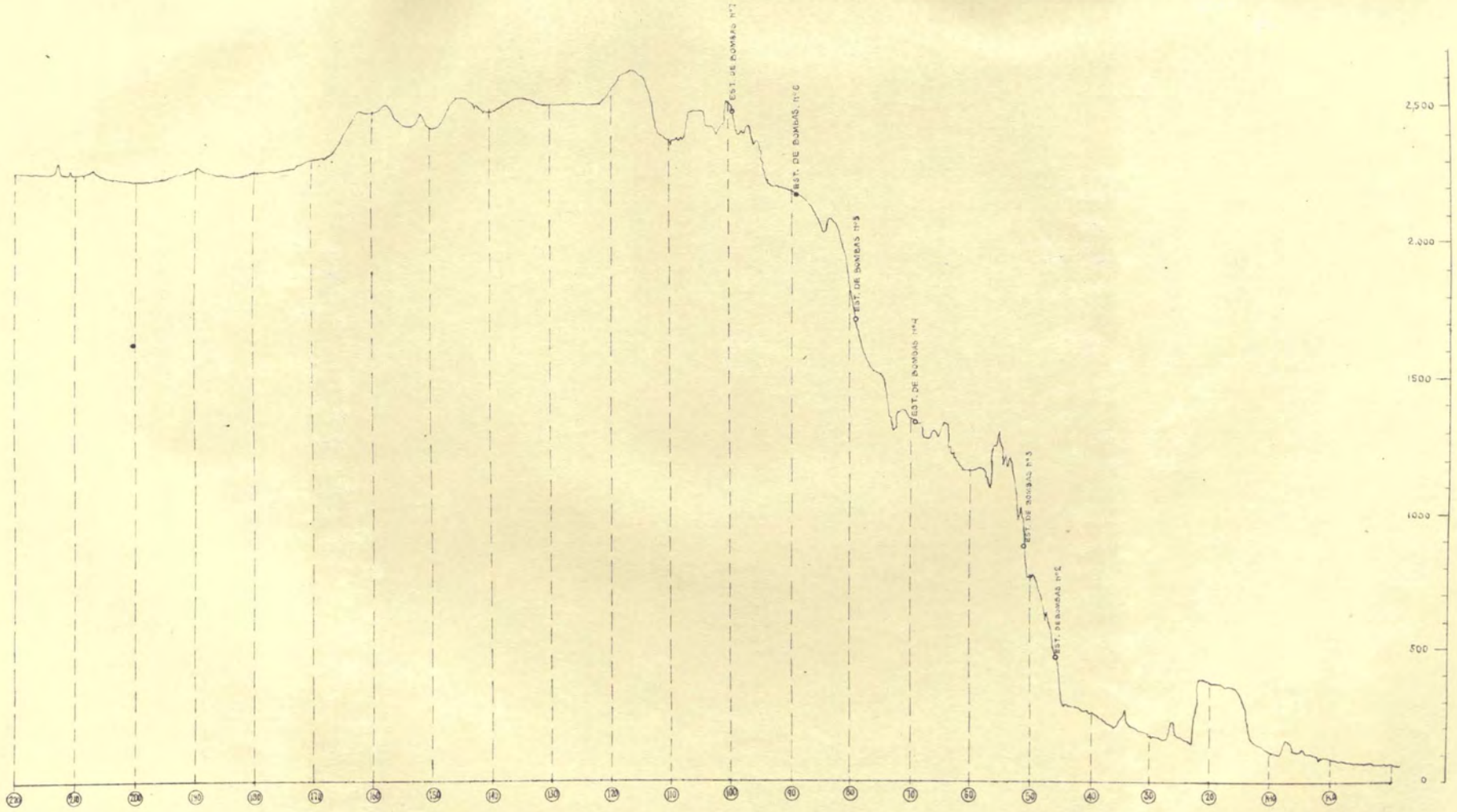
Teniendo costos por barril transportado para diferentes "gastos" en los sistemas de ampliación por tubos en paralelo y por nuevas Estaciones, se determina la capacidad desde la cual conviene un método sobre el otro construyendo la curva de costos contra gastos. Faltarían por verse solamente hasta qué capacidad es económica la ampliación por uno u otro método. Considerando el caso de mandar por una nueva línea excedentes de 22 500 barriles diarios y construyendo también la curva de costos contra gastos, se intersectaría con la última curva en el punto límite deseado.

En el proyecto de la nueva línea, empiezo por los cálculos de presiones de bomba, considerando diferentes diámetros para cada capacidad a fin de poder determinar en cada caso el diámetro de tubería más económico.

Nótese en el cuadro #XV las correcciones motivadas por las cargas de altura, o sea que al tomar la pérdida total por fricción y hacer pasar la línea de "gradiente hidráulico" por el punto final, intersecta el perfil del terreno en otros puntos. Las correcciones se hicieron haciendo pasar paralelas a la línea de gradiente por los puntos más elevados del perfil. Estas cargas adicionales se repartieron para cada caso en todas las estaciones.

El resto de los cálculos expuestos en los cuadros

sucesivos se explican por sí solos. En el cuadro XXIV obsérvese las selecciones de diámetros más económicos de tubería para cada capacidad.



PERFIL POZA-RICA ATZCAPOTZALCO

JPA

CALCULO DE PRESION DE BOMBAS. TABLA XV.

Gasto m3/h.	Longitud	D. Pulgada.	Pérdida fricc. en m. liq. por c/100	Pérdida fricc. en toda la longitud.	Desnivel. m.	Carga total m. liq.	#Estaciones	Carga por Estación	Presión de Bombeo Kg/cm2	Presión de Bombeo lbs/Pulg2
100	235	6	2.400	5620	2194	7814	13	600	52,200	746
100	235	8	0.640	1480	2194	3674	6	612	53.300	762
100	235	10	0.190	446	2194	2640 2844	5	528 569	46.000 49.400	659 705
150	235	8	1.300	3055	2194	5249	9	583	50.700	723
150	235	10	0.450	1057	2194	3251	6	542	47.300	677
150	235	12	0.200	470	2194	2664 2866	5	533 573	46.500 50.000	665 715
200	235	8	2.300	5405	2194	7599	12	633	55.100	788
200	235	10	0.750	1762	2194	3956	7	565	49.100	700
200	235	12	0.320	752	2194	2946 3000	5	589 600	51.100 52.200	731 746
200	235	14	0.200	470	2194	2664 2866	5	533 573	46.500 50.000	665 715
250	235	10	1.150	2702	2194	4896	8	612	53.300	762
250	235	12	0.470	1104	2194	3298	6	550	47.800	682
250	235	14	0.280	658	2194	2852 2940	5	570 588	49.600 51.200	708 733
300	235	10	1.500	3525	2194	5719	9	635	55.200	790
300	235	12	0.630	1485	2194	3679	6	613	53.500	764
300	235	14	0.400	940	2194	3134	5	627	54.300	779
300	235	16	0.200	470	2194	2664 2866	5	533 573	46.500 50.000	665 715

CALCULO DE ENERGIA ELECTRICA. TABLA XVI.

Dⁿ pulg.	Gasto Bb/día	Presión 16/ Pulg²	HD teórico	B	HP Flecha del motor	Kw.	m	Kw p. bombeo	15% pérdidas	Suma Kw	No. Est	No. Bombeo	Kw. total	FWH/año.
6	15 000	746	95	0.9	106	79	0.9	88	14	102	12	24	2448	21 400 000
8	15 000	762	97		108	81		90	14	104	5	10	1040	9 110 000
10	15 000	705	90		100	75		83	13	96	4	8	768	6 720 000
8	22 500	723	92		102	76		85	13	98	8	24	2352	20 640 000
10	22 500	677	86		96	72		80	12	92	5	15	1380	12 072 000
12	22 500	715	91		101	76		85	13	98	4	12	1176	10 296 000
8	30 000	788	100		111	83		92	14	106	11	44	4664	40 944 000
10	30 000	700	89		99	74		82	13	95	6	24	2280	20 018 000
12	30 000	746	95		106	79		88	14	102	4	16	1632	14 328 000
14	30 000	715	91		101	76		85	13	98	4	16	1568	13 728 000
10	37 500	762	97		108	81		90	14	104	7	35	3640	31 872 000
12	37 500	682	87		97	73		81	12	93	5	25	2325	20 400 000
14	37 500	733	93		103	77		86	13	99	4	20	1980	17 340 000
10	45 000	790	101		113	84		93	14	107	8	48	5136	45 000 000
12	45 000	764	98		109	81		90	14	104	5	30	3120	27 360 000
14	45 000	779	99		110	82		91	14	105	4	24	2520	22 104 000
16	45 000	715	91		101	76		85	13	98	4	24	2352	20 640 000

COSTO DE ENERGIA ELECTRICA.

TABLA XVII.

Gasto bb/ día.	Diam. Pulg.	Costo KWH $	KWH/año	Costo KWH/año $
15 000	6	0.0.3	21 400 000	642 000.oo
15 000	8	0.0.3	9 110 000	273 300.oo
15 000	10	0.0.3	6 720 000	201 600.oo
22 500	8	0.0.3	20 640 000	619 200.oo
22500	10	0.0.3	12 072 000	362 160.oo
22 500	12	0.0.3	10 296 000	308 880.oo
30 000	8	0.0.3	40 944 000	1 228 320.oo
30 000	10	0.0.3	20 018 000	600 540.oo
30 000	12	0.0.3	14 328 000	429 840.oo
30 000	14	0.0.3	13 728 000	411 840.oo
37 500	10	0.0.3	31 872 000	956 160.oo
37 500	12	0.0.3	20 400 000	612 000.oo
37 500	14	0.0.3	17 340 000	520 200.oo
45 000	10	0.0.3	45 000 000	1 350 000.oo
45 000	12	0.0.3	27 360 000	820 800.oo
45 000	14	0.0.3	22 104 000	663 120.oo
45 000	16	0.0.3	20 640 000	619 200.oo

COSTO TUBERIAS Y MANO DE OBRA.

TABLA XVIII.

Diam. pulg.	Material p.m.lineal $	Mano de obra p.m. lineal. $	Total p.m. lineal. $	Longitud. m.	Costo Total. $
6	15	4	19	235 000	4 465 000.oo
8	28	6	34	235 000	7 990 000.oo
10	40	10	50	235 000	11 750 000.
12	48.5	14	62.5	235 000	14 687 500 oo
14	53	18	71	235 000	16 685 000.oo
16	64	22	86	235 000	20 210 000.

COSTO ESTACIONES. TABLA XVIV.

Gasto bb/día.	No. Bomb.	Costo Bombas.	Costo Instalación bombas.	Costo casa bombas	Costo transformadores	Habitación obreros	Almacenamiento 50%	Costo Total
15 000	2	124 000.oo	10 000.oo	7 000.oo	40 000.oo	15 000.oo	37 500.oo	233 500.oo
22 500	3	186 000.oo	15 000.oo	9 500 oo	40 000.oo	15 000.oo	56 250.oo	321 750.oo
30 000	4	248 000.oo	20 000.oo	12 000.oo	58 000.oo	15 000.oo	75 000.oo	428 000.oo
37 500	5	310 000.oo	25 000.oo	14 500.oo	58 000.oo	15 000.oo	87 500.oo	510 000.oo
45 000	6	372 000.oo	30 000.oo	17 000.oo	58 000.oo	15 000.oo	112 500.oo	604 500.oo
52 500	7	434 000.oo	35 000.oo	19 500.oo	87 000.oo	15 000.oo	15 000.oo	740 500.oo

COSTO TOTAL DE LAS ESTACIONES PARA DIFERENTES GASTOS CON DIFERENTES DIAMETROS.

TABLA XX.

Gasto bb/día.	Diámetros.	Costo p. Estación.	No. Est.	Costo Total. $
15 000	6	233 500.oo	12	2 802 000.oo
"	8	"	5	1 167 500.oo
"	10	"	4	934 000.oo
22 500	8	321 750.oo	8	2 573 900.oo
"	10	"	5	1 608 750.oo
"	12	"	4	1 287 000.oo
30 000	8	428 000.oo	11	4 708 000.oo
"	10	"	6	2 568 000.oo
"	12	"	4	1 712 000.oo
"	14	"	4	1 712 000.oo
37 500	10	510 000.oo	7	3 570 000.oo
"	12	"	5	2 550 000.oo
"	14	"	4	2 040 000.oo
45 000	10	604 500.oo	8	4 836 000.oo
45 000	12	"	5	3 022 500.oo
45 000	14	"	4	2 418 000.oo
"	16	"	4	2 418 000.oo

MONTO DE INVERSION.

TABLA XXI.

Gasto.	Diam".	Costo Tubería.	Costo Estaciones.	15% Imprevistos.	Costo Total.
15 000	6	4 465 000.oo	2 802 000.oo	1 090 050.oo	8 357 050.oo
15 000	8	7 990 000.oo	1 167 500.oo	1 373 625.oo	10 531 125.oo
15 000	10	11 750 000.oo	934 000.oo	1 902 600.oo	14 586.600.oo
22 500	8	7 990 000.oo	2 573 900.oo	1 584 585.oo	12 148 485.oo
22 500	10	11 750 000.oo	1 608 750.oo	2 003 812.oo	15 362 562.oo
22 500	12	14 687 500.oo	1 287.000.oo	2 396 175.oo	18 370 675.oo
30 000	8	7 990 000.oo	4 708 000.oo	1 904 700.oo	14 602 700.oo
30 000	10	11 750 000.oo	2 508 000.oo	2 147 700.oo	16 465 700.oo
30 000	12	14 687.500.oo	1 712 000.oo	1 459 925.oo	17 859 425.oo
30 000	14	16 685 000.oo	1 712 000.oo	2 759 550.oo	21 156 550.oo
37 500	10	11 750 000.oo	3 570 000.oo	2 298 000.oo	17 618 000.oo
37 500	12	14 687 500.oo	2 550.000.oo	2 585 625.oo	19 823 125.oo
37 500	14	16 685 000.oo	2 040 000.oo	2 808 750.oo	21 533.750.oo
45 000	10	11 750 000.oo	4 836 000.oo	2 487 900.oo	19 073.900.oo
45 000	12	14 687 500.oo	3 022 500.oo	2 656 500.oo	20 366 500.oo
45 000	14	16 685 000.oo	2 418 000.oo	2 865 450.oo	21 968 450.oo
45 000	16	20 210 000.oo	2 418 000.oo	3 394 200.oo	26 022 [illegible]

CALCULO DE INTERESES Y AMORTIZACION. TABLA XXII.

Gasto bb/día.	Diam. pulg.	Monto de inversión.	15% valor de rescate	Capital por amortizar	Amortización anual	Interés del Capital.
15 000	6	8 357 050.00	1 353 557.00	7 103 493.00	835 705.00	334 282
15 000	8	10 531 125.00	1 579 669.00	8 951 456.00	1 053 112.00	421.245
15 000	10	14 586 600.00	2 187 990.00	12 398 610.00	1 458 660.00	583 464
22 500	8	12 184 485.00	1 827 673.00	10 356 812.00	1 218 448.00	487 379
22 500	10	15 362 562.00	2 304 384.00	13 058 178.00	1 536 256.00	614 502
22 500	12	18 370 675.00	2 755 601.00	15 615 074.00	1 837 067.00	734 827
30 000	8	14 602 700.00	2 190 405.00	12 412 295.00	1 460 270.00	584 108
30 000	10	16 465 700.00	2 469 855.00	13 995 845.00	1 646 570.00	658 628
30 000	12	17 859 425.00	2 678 914.00	15 180 511.00	1 785 942.00	714 377
30 000	14	21 156 550.00	3 173 532.00	17 983 018.00	2 115 655.00	846 262
37 500	10	17 618 000.00	2 642 700.00	14 965 300.00	1 761 800.00	704 720
37 500	12	19 823 125.00	2 973 469.00	16 849 056.00	1 982 312.00	792 925
37 500	14	21 533 750.00	3 230 062.00	18 303 688.00	2 153 375.00	861 350
45 000	10	19 073 900.00	2 861 085.00	16 212 815.00	1 907 390.00	762 956
45 000	12	20 366 500.00	3 054 975.00	17 311 525.00	2 036 650.00	814 660
45 000	14	21 968 450.00	3 295 267.00	18 663 183.00	2 196 845.00	878 738
45 000	10	26 022 200.00	3 903 330.00	22 118 870.00	2 602 220.00	1 040.888

COSTO ANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

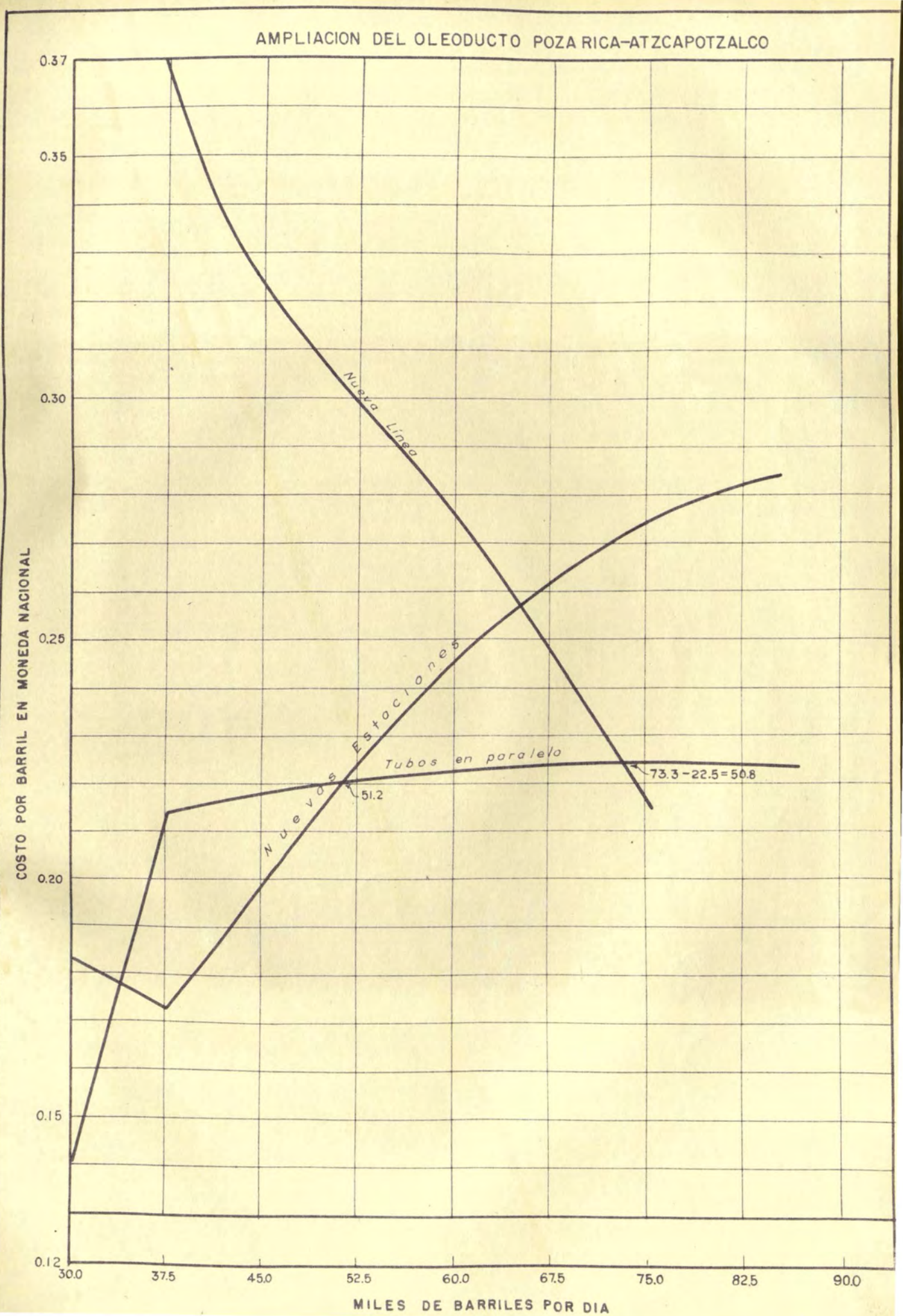
TABLA XXIII.

Gasto bb día	Diam. pulg.	Mantenimiento y lub. Est. 1%	Conservación tubería. 2%	Energía eléctrica.	Salarios.	
15 000	6	28 020.00	89 300.00	642 000.00	205 548.00	964 868.00
15 000	8	11 675.00	159 800.00	273 300.00	85 645.00	530 420.00
15 000	10	9 340.00	235 000.00	201 600.00	68 516.00	514 456.00
22 500	8	25 739.00	159 800.00	619 200.00	137 032.00	941 771.00
22 500	10	16 087.00	235 000.00	362 160.00	85 645.00	698 892.00
22 500	12	12 870.00	293 750.00	308 880.00	68 516.00	684 016.00
30 000	8	47 080.00	159 800.00	1 228 320.00	188 419.00	1 623 619.00
30 000	10	25 680.00	235 000.00	600 540.00	102 774.00	963 994.00
30 000	12	17 120.00	293 750.00	429 840.00	68 516.00	809 226.00
30 000	14	17 120.00	333 700.00	411 840.00	68 516.00	831 176.00
37 500	10	35 700.00	235 000.00	956 160.00	119 903.00	1 346 763.00
37 500	12	25 500.00	293 000.00	612 000.00	85 645.00	1 016 145.00
37 500	14	20 400.00	333 700.00	520 000.00	68 516.00	942 616.00
45 000	10	48 360.00	235 000.00	1 350 000.00	137 032.00	1 770 392.00
45 000	12	30 225.00	293 700.00	820 800.00	85 645.00	1 230 370.00
45 000	14	24 180.00	333 700.00	663 120.00	68 516.00	1 089 516.00
45 000	16	24 180.00	404 200.00	619 200.00	68 516.00	1 116 096.00

COSTO TOTAL DE OPERACION POR BARRIL.

TABLA XXIV.

Gasto. bb/día.	Diam. pulg.	Amortización anual.	Interés del Capital.	Costo anual de operación y mmtto.	Suma	Barriles por año.	Costo p. bb.
15 000	6	835 705.00	334 282.00	964 868.00	2 134 855.00		
15 000	8	1 053 112.00	421 245.00	530 420.00	2 004 777.00	5 475 000	$ 0.366
15 000	10	1 458 660.00	583 464.00	514 456.00	2 556 588.00		
22 500	8	1 218 448.00	487 379.00	941 771.00	2 647 598.00	8 212 500	0.322
22 500	10	1 536 256.00	614 502.00	698 892.00	2 849 650.00		
22 500	12	1 837 067.00	734 827.00	684 016.00			
30 000	8	1 460 270.00	584 108.00	1 623 619.00	3 667 997.00		
30 000	10	1 646 570.00	658 628.00	963 994.00	3 269 192.00	10 950 000	0.299
30 000	12	1 785 942.00	714 377.00	809 226.00	3 309 545.00		
30 000	14	2 115 655.00	846 262.00	831 176.00			
37 500	10	1 761 800.00	704 720.00	1 346 763.00	3 812 283.00		
37 500	12	1 982 312.00	792 925 00	1 016 145.00	3 791 382.00	13 687 500	0 276
37 500	14	2 153 375.00	861 350.00	942 616.00	3 951 335.00		
45 000	10	1 907 390.00	762 956.00	1 770 392.00	4 440 738.00		
45 000	12	2 036 650.00	814 660.00	1 230 370.00	4 081 680.00	16 425.000	0.248
45 000	14	2 196 845.00	878 738.00	1 089 516.00	4 165 090.00		
45 000	16	2 602 220.00	1 040 888.00	1 116 096.00	4 759 184.00		


AMPLIACION DEL OLEODUCTO POZA RICA-ATZCAPOTZALCO
COSTO POR BARRIL EN MONEDA NACIONAL
0.37
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.12
30.0
37.5
45.0
52.5
60.0
67.5
75.0
82.5
90.0
MILES DE BARRILES POR DIA
Nueva Línea
Nuevas Estaciones
Tubos en paralelo
51.2
73.3 - 22.5 = 50.8

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

Con los valores de las tablas VIII, XIV y XXIV se ha construído la gráfica #8; en ella se puede observar - que hasta los 51 200 barriles por día conviene ampliar la capacidad del oleoducto por el sistema de "Nuevas Estaciones", desde esta capacidad hasta los 73 300 barriles diarios es mejor el sistema de "Tubos en Paralelo" y que a - partir de la cual es más económico poner una nueva línea.

Es importante notar que para aumentar a 30 000 barriles la capacidad del oleoducto es más económico el sistema de "Tubos en Paralelo" y que para 37 500 barriles el costo por barril en este sistema aumenta rápidamente. Esto era de esperarse, puesto que para la primera etapa de ampliación, las pérdidas de cargas por fricción (traducidas a libras por pulgada cuadrada) exceden en muy poco de las 800 libras por pulgada cuadrada fijadas como límite y, por consiguiente como se ve en los cálculos respectivos se necesitan pequeñas longitudes de tubería, mucho menos costosa que las instalaciones de dos nuevas estaciones.

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

MANUEL ANTONIO AMOR.- Apuntes de Estructuras para Ingeniero Petrolero.

RAMON DOMINGUEZ.- Apuntes de Ingenieria de Refinería de Petróleo.

L. C. UREN.- Petroleum Production Engineering.

WOLF O.- Economic Design of Oil Pipe-line Transportation Systems, "Petroleum Engineering Handbook".

BEALE E. S.L. and DOCKSEY P.- The Laws of Fluid Flow in Pipe Lines, "The Science of Petroleum".

I N D I C E.