

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
Facultad de Química

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE  
COMBUSTOLEO CADEREYTA-APODACA**

259

**T E S I S**

Que para obtener el título de

**INGENIERO QUIMICO**

p r e s e n t a

**MARIO LEPE CASILLAS**

México, D. F.

1976



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CLAS. \_\_\_\_\_  
C.D. \_\_\_\_\_  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC. Mt. 260



QUIMICA

Jurado Asignado Originalmente según El Tema:

PRESIDENTE:	ING. GUILLERMO CARSOLIO PACHECO
VOCAL:	ING. CARLOS DOORMAN MONTERO
SECRETARIO:	ING. LUIS URIBE RODRIGUEZ
1er. SUPLENTE:	ING. ALEJANDRO ANAYA DURAND
2do. SUPLENTE:	ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA

Sitio donde se Desarrolló El Tema:

BUFETE INDUSTRIAL, DISEÑOS Y PROYECTOS, S.A.

Nombre Completo y Firma del Sustentante:

MARIO LEPE CASILLAS



Nombre Completo y Firma del Asesor del Tema:

ING. LUIS URIBE RODRIGUEZ



Nombre Completo y Firma del Supervisor Técnico:

ING. JAIME TORAL GARIBAY



DEDICO MI TESIS A MIS PADRES, DR. MARIO LEPE  
SAUCEDO Y MAGDALENA C. DE LEPE, CON TODO MI ALOR ,  
CARINO Y AGRADECIMIENTO.

AGRADEZCO AL ING. JAIME TOSAL GARIBAY POR SU  
GENEROSA DIRECCION Y COLABORACION EN LA REALIZACION  
DE ESTA TESIS.

I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
I.- INTRODUCCION	1
II.- BASES DE DISEÑO	4
III.- ECUACIONES EMPLEADAS EN EL DISEÑO HIDRAULICO	13
IV.- CALCULO DE LAS PRESIONES DE DESCARGA Y ESPESORES REQUERIDOS DE TUBERIA.	24
V.- COSTOS DE OPERACION	48
VI.- COSTO DE LA INVERSION INICIAL	56
VII.- CONCLUSIONES	68

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO II

BASES DE DISEÑO

## CAP. II BASES DE DISEÑO.

### 1.- CARACTERISTICAS DEL COMBUSTOLEO EN LA SUCCION DE LAS- BOMBAS.

#### a) Factores de caracterización:

De la planta se obtiene combustóleo de las siguientes características físicas:

Factor de caracterización de Watson: 11.45

Densidad a 60°F : 12.96° API

#### b) Temperatura:

El combustóleo se recibe de la planta a 190°F y es mantenido a esa temperatura en los tanques de almacenamiento mediante unos calentadores de vapor.

#### c) Viscosidad:

Para el combustóleo de las características dadas - en el punto a) Pemex proporcionó los siguientes valores - experimentales:

Temperatura °F	Viscosidad cs
100	2 900
300	9.5

Estos puntos fueron graficados en la carta ASTM - (1). En esta carta, la gráfica  $Tvs\mu$  es una línea recta, - la que se puede fijar con sólo dos puntos. Las limitaciones de esta carta son dos: 1.- Arriba de 475°F se obtienen resultados erróneos y 2.- Solo sirve para fluidos newtonianos. Además, esta gráfica tiene como rango más confiable entre 32°F y 212°F.

Para el caso del combustóleo ducto no se tienen - temperaturas mayores de 475°F y la temperatura estará a-

FIGURE 11A4.2  
TEMPERATURE VARIATION  
OF LIQUID  
VISCOSITY

TECHNICAL DATA BOOK  
October 1964  
Approved: MRF & WGB

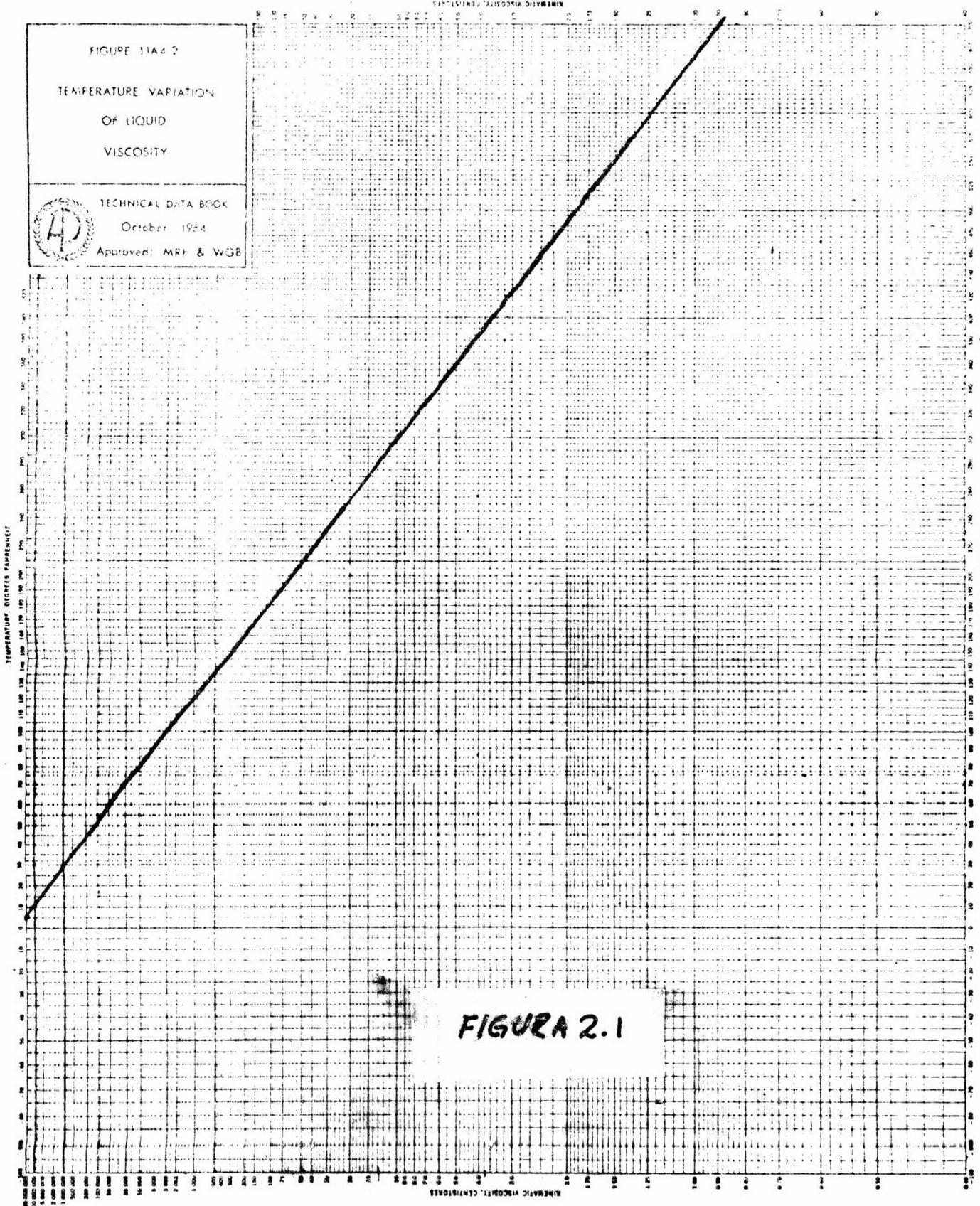


FIGURE 2.1

rriba del "pour point" comportándose siempre el combustó-  
leo como fluido newtoniano. El error arriba de  $212^{\circ}\text{F}$  no -  
pasa de un 12% pero las viscosidades son pequeñas y no -  
tienen mucha influencia sobre la caída de presión. El ran-  
go más crítico es entre  $115^{\circ}\text{F}$  y  $200^{\circ}\text{F}$ .

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores,  
se llega a la conclusión de que el empleo de ésta gráfica  
es confiable. La gráfica resultante se muestra en la fig.  
2.1

d) Densidad:

Para una fracción con una densidad de  $12.96^{\circ}\text{API}$  se  
tiene que su gravedad específica a  $60^{\circ}\text{F}$  es 0.9795. Con es-  
ta gravedad específica y con el factor de caracterización  
de Watson, por medio del nomograma del API (2), para dife-  
rentes temperaturas se obtuvieron las siguientes graveda-  
des específicas:

T $^{\circ}\text{F}$	Gr Sp
190	0.937
210	0.931
230	0.924
250	0.917
270	0.912
290	0.905
310	0.898
320	0.895

El mayor error esperado de éste nomograma es solo -  
del 2%. Estos datos fueron correlacionados graficamente, y  
la gráfica resultante se muestra en la fig. 2.2

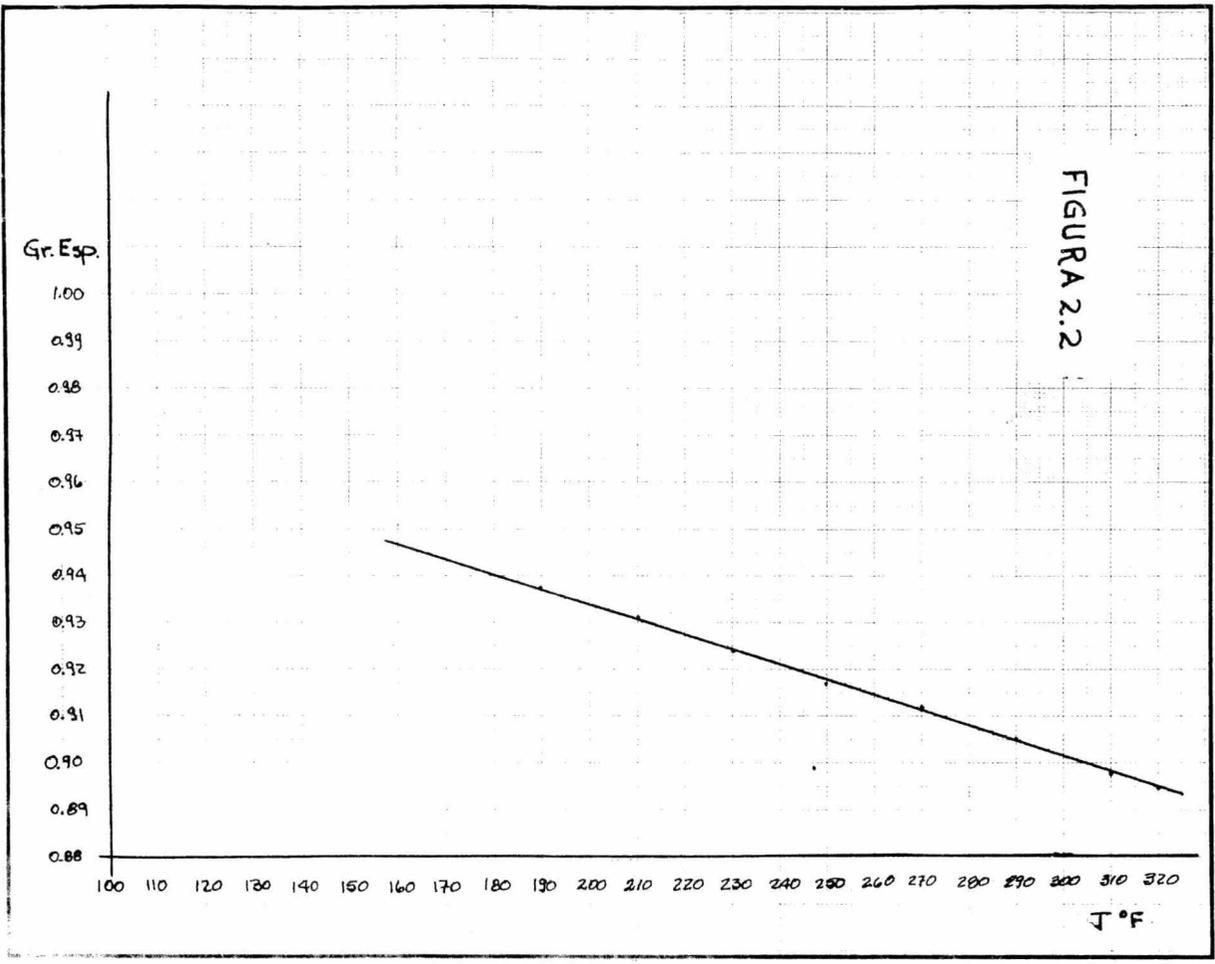
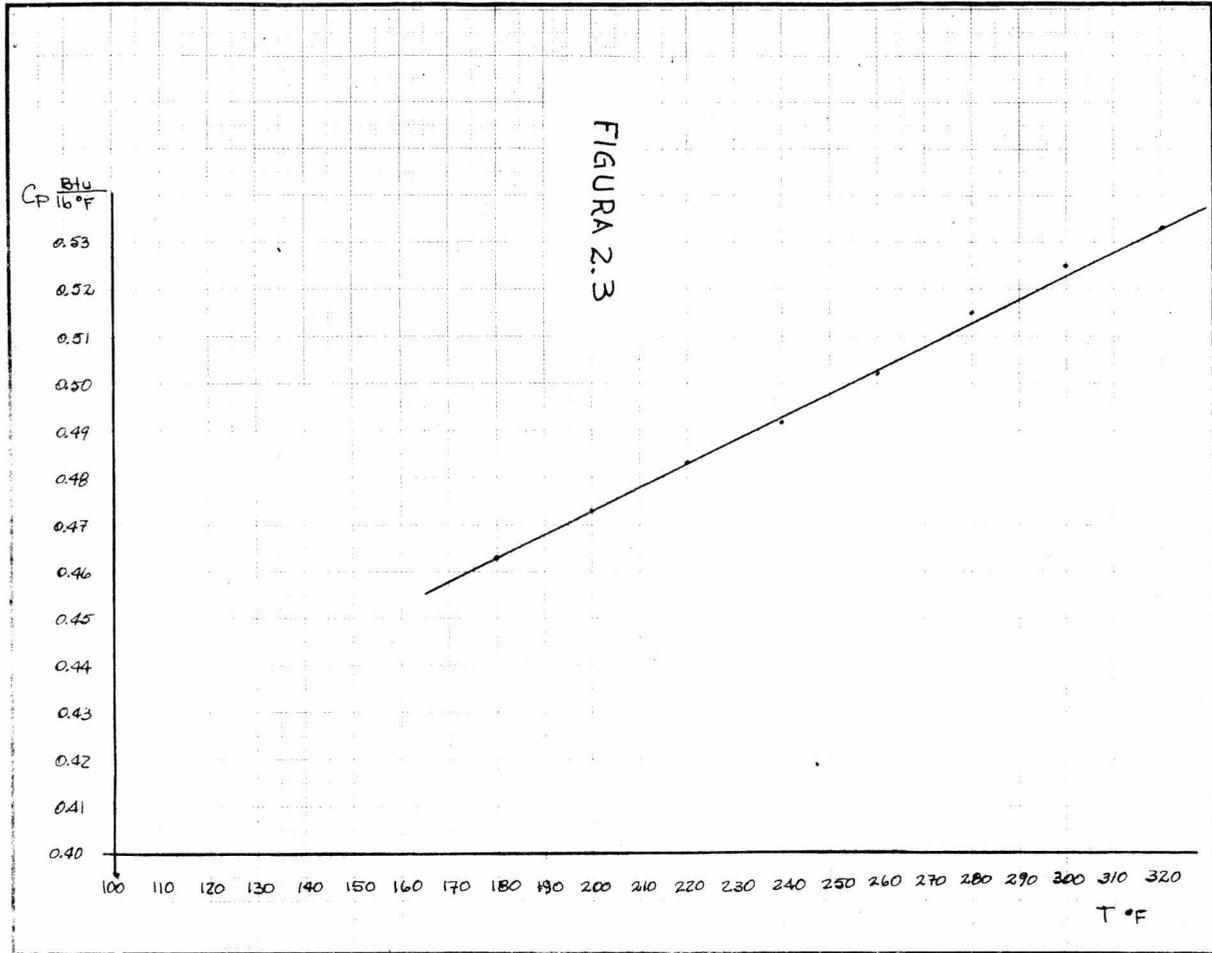


FIGURA 2.2



e) Capacidad calorífica:

Por medio de la gráfica del Ap1 (3) de Cp vs T que tiene como parámetros densidad en  $\text{lb/ft}^3$  y factor de caracterización de Watson, se obtuvieron las siguientes lecturas para el combustóleo:

T $^{\circ}$ F	Cp Btu/lb $^{\circ}$ F
180	0.463
200	0.473
220	0.483
240	0.492
260	0.502
280	0.515
300	0.525
320	0.533

Esta gráfica tiene un error máximo del 4%. Estos datos fueron correlacionados gráficamente, y la gráfica resultante es la que se muestra en la fig. 2.3

## 2.- INFORMACION SOBRE EL COMBUSTOLEODUCTO.

a) Descripción de la trayectoria:

El combustoleoducto comienza en la casa de bombas de la refinería, y se dirige hacia el oeste, paralelo al ferrocarril Monterrey-Reynosa, hasta la estación distribuidora de San Rafael. Aquí se separa de la vía del ferrocarril, siguiendo el combustoleoducto hacia el noroeste hasta llegar a los límites de batería de la planta Eléctrica de Apodaca. En la fig. 2.4 se muestra un esquema de la ruta.

Por medio de un estudio fotográfico aéreo, se determinó la longitud total del combustoleoducto, siendo ésta de 36 Km.

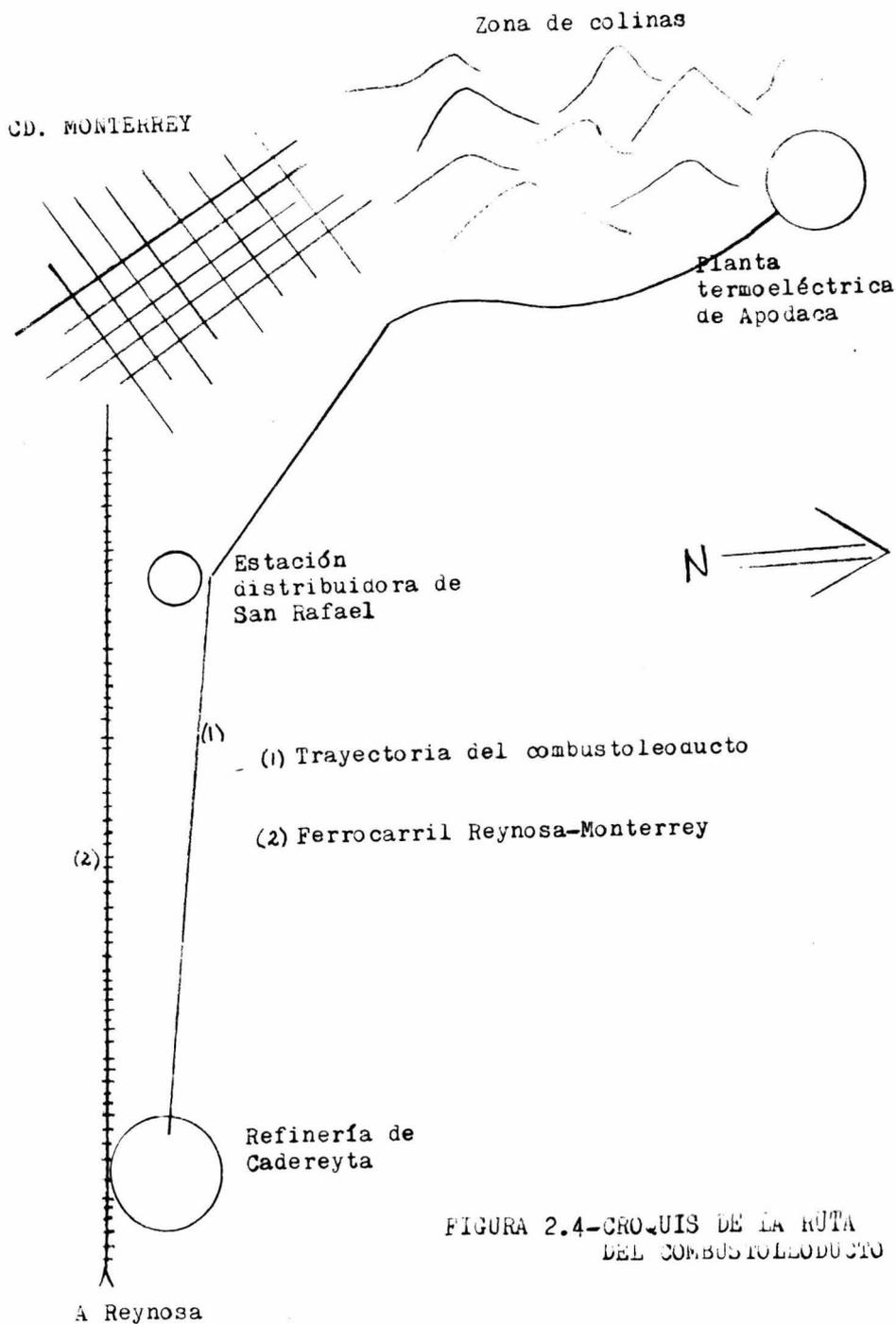


FIGURA 2.4-CROQUIS DE LA RUTA DEL COMBUSTOLEODUCTO

Aunque a lo largo de la trayectoria hay pequeñas elevaciones del terreno, mediante un estudio topográfico se determinó que el punto final es el de mayor altura a lo largo de la trayectoria del combustóleo ducto y la diferencia total de niveles entre la planta eléctrica y la refinería es de 442 ft. Para una gravedad específica de 0.916 (gravedad específica a la temperatura media de 190°F y 320°F) y empleando un factor de seguridad del 5%, esta diferencia de niveles representa una presión total de 185 psi.

La naturaleza del suelo es arenosa-arcillosa con posibles trazas de humedad debido al riego de campos agrícolas cercanos (prácticamente no existe precipitación pluvial en esa zona). Para este tipo de suelo, el coeficiente total de transferencia de calor se tomó como 0.5 Btu/ft<sup>2</sup>hr °F (4). Se usó este valor debido a la falta de datos experimentales, pero el tipo de terreno para el coeficiente total reportado en la literatura (4) es semejante al existente en la zona de Cadereyta.

b) Temperatura del Medio Ambiente.

Una de las bases de diseño de la Refinería de Cadereyta es la temperatura promedio anual del medio ambiente, obtenida por información del Instituto de Meteorología - del Observatorio Nacional e igual a 70°F. Esta temperatura es considerada para obtener el consumo promedio de energía, puesto que en verano dicho consumo será menor y en -

invierno será mayor, debido a la influencia de la temperatura del medio ambiente sobre el enfriamiento del combustible a lo largo de la tubería.

Debido a la influencia de la temperatura del medio ambiente sobre el enfriamiento del combustible, se tuvo que investigar además cuales fueron las temperaturas de invierno más frías de 1963 a 1974, con objeto de verificar que el combustible al enfriarse demasiado no provoque una obstrucción en la línea. Como conclusión se obtuvo que aproximadamente 15 días al año, o sea aproximadamente el 4% del año, la temperatura más fría fue 36°F (muy rara vez resultó ser menor y solo por 1 o 2°F). Esta temperatura de 36°F fue seleccionada como temperatura de diseño para los días más fríos del año. La diferencia de temperaturas entre el día y la noche no afecta prácticamente el diseño del combustoleoducto (14).

### 3.- FACTORES PARA LA EVALUACION ECONOMICA.

#### a) Tiempo de operación.

Se considera que el combustoleoducto tendrá una vida útil de 14.285 años (5), debido a que en México se considera este lapso de tiempo como el mínimo requerido para la depreciación total del equipo en éste tipo de plantas. Además se considera que el equipo estará en operación - 8400 horas por año.

#### b) Factor de valor presente.

Con el objeto de poder comparar desde el punto de vista económico diferentes alternativas de posibles combinaciones de inversión inicial y consumo de energía para -

un cierto período de tiempo, se requiere conocer la inversión actual necesaria para poder cubrir en el futuro los gastos de consumo de energía, tanto térmica como eléctrica.

Por definición (6), el valor presente de una cantidad futura, es el capital que tiene que ser depositado en el presente a una cierta cantidad de interés para obtener la cantidad deseada en una fecha futura.

Se tiene también por definición (7), que una anualidad es una serie de pagos iguales en intervalos iguales de tiempo. Como el consumo de energía es continuo, su gasto también es continuo, y por tanto, para poder aplicar el concepto de anualidad al caso del combustoleoducto, es necesario hacer los intervalos de tiempo infinitamente pequeños (aunque, por supuesto, los pagos reales sean los totales consumidos mensual o bimestralmente), o sea, que se tiene un gasto continuo o flujo continuo de efectivo.

El valor presente de una anualidad (8) se define como el principal que tendría que ser invertido en el momento presente con una cierta cantidad de interés compuesto para obtener una cantidad total igual a la cantidad total de la anualidad.

Para el caso de flujo continuo de efectivo, se tiene la siguiente expresión para calcular el valor presente de una anualidad (8):

$$P = \bar{R} \times \frac{e^{rn} - 1}{r e^{rn}}$$

donde:  $\bar{R}$  = principal invertido en el tiempo presente  
 $r$  = tasa de interés  
 $n$  = número de años  
 $P$  = valor presente de la anualidad  
 $(e^{rn}-1) \div (re^{rn})$  = factor de valor presente

En el caso particular del combustoleoducto se tiene una tasa de interés del 12% (tasa de interés bancario actual para inversiones mayores de \$ 1,000,000), y para 14.285 años de tiempo de depreciación total, se tiene:

$$P = \bar{R} \frac{e^{(0.12)(14.285)} - 1}{(0.12) e^{(0.12)(14.285)}} = \bar{R} \cdot 6.833$$

Por tanto, el factor de valor presente será 6.833

c) Costo de energía eléctrica.

Pemex proporcionó el siguiente valor para el costo de energía eléctrica dentro de la Refinería:

Costo de energía eléctrica: \$ 0.15/Hp-hr

d) Costo de vapor de calentamiento.

Al igual que en el caso de la energía eléctrica, Pemex proporcionó el costo de vapor de calentamiento dentro de la Refinería:

Vapor con presión de 275 psig: \$10.00/ton

Vapor con presión de 50 psig: \$6.00/ton

e) Costo de tuberías.

Para calcular el costo de tuberías se empleo el tabulador señalado en la tabla II-I. Estos costos son por metro lineal, e incluyen: tuberías, mano de obra, an

FABLA II.1

TUBERIA API STD 5LX-52

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior, in	Espesor, in	Costo tubería, \$/m	Costo Total \$/m
6"	6.625	0.250	88.60	190.635
		0.280	98.75	200.786
		0.312	109.69	211.718
		0.344	120.04	222.077
		0.375	130.30	232.233
		0.432	148.73	250.761
		0.500	170.28	272.313
		0.562	189.59	291.626
		0.625	208.49	310.523
		0.719	236.03	338.061
8"	8.625	0.188	79.47	201.944
		0.203	85.92	208.385
		0.219	92.36	214.830
		0.250	104.35	227.780
		0.277	115.27	238.700
		0.312	128.20	251.627
		0.322	133.24	256.668
		0.344	141.87	265.301
		0.375	154.19	277.622
		0.438	155.22	278.648
		0.500	202.49	325.223
		0.562	226.06	349.491

TABLA II.1 (Continuación)

TUBERIA API STD 5LX-52

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior, in	Espesor, in	Costo tubería, \$/m	Costo total \$/m
10"	10.75	0.188	99.04	242.019
		0.202	107.15	250.120
		0.219	115.20	258.175
		0.250	131.30	275.475
		0.279	146.10	290.272
		0.307	160.33	304.507
		0.344	178.86	323.050
		0.365	189.55	333.726
		0.406	210.84	355.019
		0.438	225.65	369.829
0.500	256.33	400.503		
12"	12.75	0.188	118.68	290.770
		0.203	128.39	300.487
		0.219	138.11	310.204
		0.250	157.45	329.543
		0.281	176.65	360.223
		0.312	195.80	379.374
		0.330	206.46	390.034
		0.344	214.86	398.430
		0.375	233.77	417.345
		0.406	252.64	436.213

TABLA II.1 (Continuación)

TUBERIA API STD 5LX-52

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior, in	Espesor, in	Costo tubería, \$/m	Costo total \$/m
14"	14.00	0.210	144.29	336.297
		0.219	150.21	342.220
		0.250	171.25	363.260
		0.281	192.23	385.840
		0.312	213.08	406.690
		0.344	233.89	427.495
		0.375	254.55	448.160
16"	16.00	0.203	215.44	446.892
		0.219	231.92	463.372
		0.250	264.50	495.955
		0.281	296.964	533.525
		0,312	329.25	565.810
		0.344	361.45	598.006
		0.375	393.52	630.075

tícorrosivo, válvulas, trampa de diablos, inspección radiográfica, protección catódica, importe de ingeniería y supervisión de construcción. Este tabulador se obtuvo de cotizaciones comerciales y tabuladores de Pemex.

Para tubería standar API 5LX-52 el esfuerzo máximo a la tensión es de 52 000 psi. Como presión máxima de trabajo se debe emplear el 72% del máximo esfuerzo a la tensión (9). Aunque esta especificación es válida para temperaturas entre  $-20^{\circ}\text{F}$  y  $250^{\circ}\text{F}$ , se vió que para el ASTM A-53-B la temperatura realmente afecta al máximo esfuerzo a la tensión hasta una temperatura de  $650^{\circ}\text{F}$  (10). Debido a que el A-53-B es de menor calidad que el API 5LX, se decidió emplear el 72% hasta una temperatura de  $315^{\circ}\text{F}$ .

#### 4.- ALTERNATIVAS.

Como variables de las condiciones de operación se tiene:

- a) Nivel de presión de vapor de calentamiento: se dispone de 2 niveles de presión: 50 psig y 275 psig.
- b) Temperatura inicial de calentamiento del combustible: se analizarán las siguientes temperaturas iniciales: 230, 250 y  $285^{\circ}\text{F}$ .

Como variable en la dimensión del equipo se tiene el diámetro de tubería, del que se analizarán las siguientes dimensiones: 6, 8, 10, 12, 14, 16 pulgadas. Para cada uno de estos diámetros nominales se emplearán los espesores indicados en el tabulador de tuberías de la ta-

bla I, para obtener los diámetros internos empleados para los cálculos.

En la tabla II-2 se muestran las alternativas a analizar.

TABLA II.2

ALTERNATIVAS

Diámetro Nominal	Temperatura inicial del combustible, °F	Presión de vapor de calentamiento (psig).
6"	230	50 y 275
	250	50 y 275
	285	275
8"	230	50 y 275
	250	50 y 275
	285	275
10"	230	50 y 275
	250	50 y 275
	285	275
12"	230	50 y 275
	250	50 y 275
	285	275
14"	230	50 y 275
	250	50 y 275
	285	275
16"	230	50 y 275
	250	50 y 275
	285	275

Para cada diámetro nominal se deben emplear cada uno de los espesores indicados en la tabla II.1

CAPITO III

ECUACIONES EMPLEADAS EN EL

DISEÑO HIDRAULICO

CAP. III ECUACIONES EMPLEADAS EN EL DISEÑO HIDRAULICO.

1.- ECUACION DE DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS.

A fin de determinar la distribución de temperaturas en la línea de combustóleo y en general, para cualquier fluido transportado por tubería enterrada, se hace un balance de calor entre la pérdida de energía interna del fluido y el flujo de calor a través de la pared del tubo. La ecuación se plantea para un elemento infinitesimal de la línea y luego se integra para la longitud total.

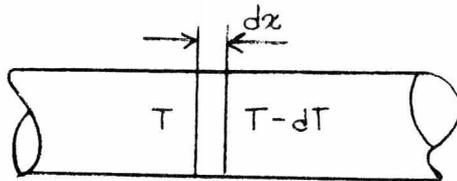
En el balance la pérdida de la energía interna del fluido es igual al calor cedido por el combustóleo al medio ambiente:

$$q = mCp\Delta t \quad (A)$$

y el flujo de calor a través de la pared del tubo está dada por la ecuación:

$$q = UA (T - T_a) \quad (B)$$

Para este caso, en un tramo de línea de longitud  $X$  y diámetro  $D$ , en un incremento de distancia  $dx$  se tendrá un decremento de temperatura  $-dt$ :



Igualando las ecuaciones A y B:

$$UA (T - T_a) = mCp\Delta t \quad (C)$$

El área de transmisión para el elemento diferencial  $dx$  -  
es:

$$A = \pi D dx \quad (D)$$

y la masa de fluido que pasa por la línea es:

$$m = V \frac{\pi D^2}{4} \rho \quad (E)$$

aplicando D y E en la ecuación (C) se obtiene:

$$U \pi D dx (T - T_a) = -v \frac{\pi D^2}{4} \rho C_p dt$$

que simplificada es:

$$U dx (T - T_a) = \frac{-vD}{4} \rho C_p dt \quad (F)$$

Integrando la ecuación (F) entre los límites  $n$  y  $n+1$ :

$$\int_{X_0}^{X_n} \frac{4 U dx}{v D \rho C_p} = \int_{T_0}^{T_n} \frac{dt}{(T - T_a)} = \ln \left( \frac{T_n - T_a}{T_0 - T_a} \right) \quad (G)$$

La ecuación resultante es (11):

$$\frac{T_n - T_a}{T_0 - T_a} = \exp \left( - \frac{4Ux}{3,600 \rho cvD} \right) \quad (1-III)$$

donde:  $x$  = longitud del intervalo, ft  
 $U$  = coeficiente total de transferencia de calor, Btu/hr ft<sup>2</sup> °F  
 $\rho$  = densidad, lb/ft<sup>3</sup>  
 $c = C_p$  = calor específico, Btu/lb °F

$v$  = velocidad, ft/seg  
 $D$  = diámetro del tubo, ft  
 $T_a$  = temperatura ambiente, °F  
 $T_o$  = temperatura inicial del intervalo, °F  
 $T_n$  = temperatura final del intervalo, °F

En ésta ecuación debe tenerse en cuenta lo siguiente:

$$\rho = f(T), \quad c = f(T), \quad v = f(\rho(T)), \quad T = f(\rho, c, v)$$

La densidad, el calor específico y la velocidad deben estimarse a la temperatura media del intervalo, por lo que es necesario suponer una temperatura al final del intervalo, y con esa temperatura y la temperatura inicial, calcular una temperatura intermedia. A esa temperatura intermedia se debe estimar la densidad, la capacidad calorífica y la velocidad. Luego se aplica la ecuación I-III, y la temperatura calculada al final del intervalo se compara con la temperatura supuesta. Si no coinciden, se debe repetir el cálculo.

Para evitar este método de tanteo y error, se hicieron unas pruebas y se vió que para distancias cortas (menores de un Km), la diferencia entre densidades y capacidades caloríficas estimadas con la temperatura inicial del intervalo no eran muy grandes, y por tanto, se decidió usar las propiedades estimadas a la temperatura inicial para estimar las temperaturas al final de cada intervalo. Para el cálculo de la caída de presión, se emplearán la viscosidad y la densidad a la temperatura media del intervalo.

## 2.- ECUACIONES Y CRITERIOS EMPLEADOS EN EL CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION.

La ecuación empleada para calcular el número de Reynolds (12) fué la siguiente:

$$N_{re} = 123.9 \frac{dv\rho}{\mu} \quad (2-III)$$

donde:  $d$  = diámetro interno del tubo, pulgadas  
 $v$  = velocidad media de flujo ft/seg  
 $\rho$  = densidad del fluido, lb/ft<sup>3</sup>  
 $\mu$  = viscosidad absoluta, cp

El criterio empleado para determinar el tipo de flujo es el siguiente: para números de Reynolds menores de 2 000 se considera flujo laminar; para números de Reynolds mayores de 2 000 y menores de 3 000, se considera flujo en zona de transición (13); para números de Reynolds mayores de 3 000, se considera flujo turbulento.

Para calcular el factor de fricción en flujo laminar, se empleó la ecuación (12):

$$f = \frac{64}{N_{re}} \quad (zona laminar) \quad (3-III)$$

En la zona crítica, se tiene en realidad una combinación no estable de flujo turbulento y flujo laminar, pero se considera que para un fluido que cambia de patrón de flujo mientras fluye en una tubería, al llegar su  $N_{re}$  a la zona crítica, permanece el fluido en ella con el patrón de flujo que tenía antes de llegar a esa zona (15).

Por está razón, y por agregar un pequeño factor de seguridad en el cambio laminar-turbulento, varios autores recomiendan emplear el factor de fricción para  $2\ 000 < Re < 3\ 000$  estimado como si fuese flujo turbulento, (15) - (16) (13). Un criterio un poco más conservador es emplear para esta zona un factor de fricción constante e igual a 0.047 (17), siendo este valor el factor de fricción para un  $Nre < 2\ 000$  de una tubería mayor de 6". Por tanto:

$$f = 0.047 \quad (\text{zona de transmisión}) \quad (4\text{-III})$$

Para flujo turbulento, se empleó la ecuación (11) (18) (19):

$$f = 0.3164 \ Nre^{-0.25} \quad (\text{zona turbulenta}) \quad (5\text{-III})$$

Aunque esta ecuación solo es válida para tubos completamente lisos, para el rango  $3\ 000 < Nre < 100\ 000$  y tubos mayores de 6", el factor de rugosidad prácticamente no afecta al factor de fricción, trabajando los tubos en éste caso, como si fuesen tubos completamente lisos.

Para calcular la caída de presión, se empleó la ecuación (12):

$$P = 0.001294 \frac{f \rho v^2}{d} \times L_i$$

A esta caída de presión se le agrega un 20% como factor de seguridad por ensuciamiento de la línea y 10% como factor de seguridad de flujo de la bomba, que tiene como consecuencia 10% al cuadrado como factor de seguridad en caída de presión.

### 3.- ECUACION PARA EL CALCULO DE LA VISCOSIDAD.

En la gráfica de viscosidad contra temperatura da da en el cap. II de ésta tesis, la ecuación de la recta representada tiene la forma (20):

$$\log\text{-}\log (\nu + A) = -m \log T + B \quad (7\text{-III})$$

donde:  $T =$  temperatura,  $^{\circ}\text{R}$   
 $\nu =$  viscosidad cinemática, cks  
 $A, B, m =$  constantes.

Con objeto de determinar el valor de las constantes  $A, B, m$ , se hicieron las siguientes lecturas:

T $^{\circ}\text{F}$	cks
15	5 000 000
300	10
700	0.9

Substituyendo los valores anteriores en la ecuación (7-III), se obtiene el siguiente sistema:

$$\log\text{-}\log (5 \times 10^6 + A) = -m \log (15+460) B \quad (\text{I})$$

$$\log\text{-}\log (10 + A) = -m \log (300+460) B \quad (\text{II})$$

$$\log\text{-}\log (0.9 + A) = -m \log (700+460) B \quad (\text{III})$$

Restando miembro a miembro II de I y III de II - se obtiene:

$$\log \left[ \frac{\log (5 \times 10^6 + A)}{\log (10 + A)} \right] = m (0.20412) \quad (\text{IV})$$

$$\log \left[ \frac{\log (10 + A)}{\log (0.9 + A)} \right] = m (0.18364) \quad (\text{V})$$

y dividiendo IV entre V:

$$\log \frac{\frac{\log (5 \times 10^6 + A)}{\log (10 + A)}}{\log (0.9 + A)} = 1.11152 \quad (VI)$$

La solución de la ecuación VI se encuentra por prueba y error. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Valor supuesto de A	Valor calculado
0.5	0.9674
0.6	1.06540
0.65	1.11210
0.649	1.111181
0.6495	1.111642
0.6494	1.11155
0.64935	1.1115
0.649365	1.1115179
0.649367	1.1115197
0.649368	1.11152006

Por lo tanto:  $A = 0.649368$

Substituyendo este valor de A en la ecuación V:

$$\log \left( \frac{\log (10 + 0.649368)}{\log (0.9 + 0.649368)} \right) = m = 3.98933004$$

0.183664

y substituyendo los valores A y m en la ecuación III:

$$\log - \log (0.9 + 0.649368) + (3.98933004)(3.06445) = B$$

$$B = 11.50420923$$

La ecuación para obtener  $\gamma$  en función de la tem  
peratura queda así:

$$\gamma = \left[ 10^{10^{-m \log T + B}} \right] - A$$

y, por último, para obtener la viscosidad en centipoises:

$$\gamma = \left[ \left[ 10^{10^{-m \log T + B}} \right] - A \right] \times S \quad 8-III$$

donde  $S =$  gravedad específica.

#### 4.- ECUACION PARA EL CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA.

Con objeto de obtener la ecuación de la función -  
 $S = f(T)$ , se hicieron las siguientes lecturas de la grá-  
 fica SvST dada en el cap. II de ésta tesis:

S	T °F
0.934	200
0.898	310

Esta gráfica es una línea recta, y la forma de la  
 ecuación es:  $y = mx + b$  donde:

$$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1).$$

$$\text{Substituyendo valores: } m = \frac{0.934 - 0.898}{200 - 310}$$

$$m = -0.00032727$$

y para 200 °F:

$$0.934 = -0.00032727 (200) + b \Rightarrow b = 0.999454$$

Por tanto, la ecuación buscada es:

$$S = -0.00032727 T(^{\circ}F) + 0.999454 \quad 9-III$$

## 5.- ECUACION PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD CALORIFICA.

Al igual que en el caso de la gravedad específica, la gráfica de  $C_p$  vs  $T$  dada en el cap. II de ésta tesis, - es una línea recta.

Para encontrar la ecuación se hicieron las siguientes lecturas:

$C_p$ Btu/lb <sup>o</sup> F	$T$ °F
0.483	220
0.473	200

Substituyendo en la ecuación de la pendiente:

$$m = \frac{0.483 - 0.473}{220 - 200} = 0.0005$$

$$y \quad b = 0.483 - 0.0005 (200) = 0.373$$

Por tanto, la ecuación tiene la forma:

$$C_p \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}} = 0.0005 T^{\circ}\text{F} + 0.373 \quad 10-111$$

## 6.- ECUACION PARA EL CALCULO DE LA VELOCIDAD.

La velocidad lineal de un fluido en un tubo de diámetro dado es función del gasto volumétrico. Para el caso del combustóleo, el gasto volumétrico es función de la temperatura. Por tanto, el gasto volumétrico deberá ser multiplicado por la relación de gravedades específicas diferentes temperaturas para obtener el gasto volumétrico real en un punto dado de la línea.

Siendo el combustoleoducto diseñado para manejar 584 gal/min a 60 °F, se tiene:

$$v = q/A$$

donde:  $v$  = velocidad, ft/seg  
 $q$  = gasto volumétrico, ft<sup>3</sup>/min  
 $A$  = área interna del tubo, ft<sup>2</sup>

y substituyendo:

$$v = \frac{584 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{7.48 \text{ gal}}}{0.785 \times d^2} \times \frac{\text{Sgr} (60 \text{ } ^\circ\text{F})}{\text{Sgr} (T \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$v = \frac{233.54914}{d^2 \text{ Sgr} (T \text{ } ^\circ\text{F})} \quad 11-III$$

#### 7.- ECUACION EMPLEADA PARA EL CALCULO DE ESPESOR DE TUBERIA.

La ecuación empleada para calcular el espesor mínimo requerido en la tubería, aplicable a la mayoría de las plantas de proceso, es la del código B 31.3 de la "American Standards Association" (Petroleum Refinery Piping) (21). La ecuación es:

$$t = M \left( \frac{PD}{2S} \right) + C \quad 12-IV$$

donde:  $t$  = espesor mínimo de pared de tubo, pulgadas  
 $P$  = presión interna de servicio  $\times 1.2$ , psig  
 $D$  = diámetro exterior de tubo, pulgadas  
 $S$  = máximo esfuerzo permisible, psi

M = tolerancia del fabricante (1.125 para tubería de acero al carbón) (21).

C = corrosión permisible, pulgadas (0.065 pulg. para combustóleo en tubos de acero al carbón) (21).

La presión interna de servicio es la suma de la caída de presión total más la presión hidrostática más la presión de descarga al final de la línea.

La presión de descarga al final de la línea requerida por la comisión Federal de Electricidad es de 140 psig.

El factor de seguridad del 20% agregado a la presión interna de servicio, sirve para estimar la presión máxima de trabajo de la línea, que es la presión de descarga de la bomba a válvula cerrada. Se analizaron 26 curvas de bombas semejantes (bombas con cabezas entre 700 y 1 000 psi y gastos de 400 a 800 gal/min), encontrándose que el aumento en la presión de descarga a flujo cero varió entre 11 y 18.5%.

CAPITULO IV

CALCULO DE LAS PRESIONES

DE DESCARGA Y ESPESORES

REQUERIDOS DE TUBERIA

#### CAP. IV CALCULO DE LAS PRESIONES DE DESCARGA Y ESPESORES REQUERIDOS DE TUBERIA.

El cálculo de la caída de presión en el combustible leoducto para cada una de las posibles alternativas es un proceso repetitivo muy laborioso, por lo cual se decidió elaborar un programa sencillo que calculara la caída de presión total en la línea, la presión de descarga requerida por las bombas, la presión de diseño de la tubería, y el espesor mínimo requerido.

Las ecuaciones empleadas en la elaboración del programa se encuentran descritas en el cap. III de esta tesis. En éste cap. solo se da su referencia en el listado del programa.

##### 1.- METODO DE CALCULO.

En la elaboración del programa, lo primero que se hizo fué definir exactamente el problema, estableciendo las etapas del procedimiento de cálculo. El método se estableció en base a lo descrito en los puntos 1 y 2 del cap. I y el punto 1 del cap. III de esta tesis. El método de cálculo es el siguiente:

- a) Establecimiento de datos para una alternativa.
- b) Cálculo de las propiedades físicas del combustible a la temperatura inicial de cada intervalo de la línea.
- c) Cálculo de la temperatura promedio en cada intervalo.

- d) Cálculo de las propiedades físicas del combustible a la temperatura promedio de cada intervalo.
- e) Cálculo del número de Reynolds y selección del tipo de flujo.
- f) Cálculo del factor de fricción dependiendo del tipo de flujo.
- g) Cálculo de la caída de presión en cada intervalo de la línea.
- h) Suma de las caídas de presión de cada intervalo de la línea.
- i) Cálculo de la presión de descarga.
- j) Cálculo de la presión de diseño.
- k) Cálculo del espesor de tubería mínimo requerido.
- l) Si el espesor mínimo requerido es mayor que el supuesto, aumentar el espesor y repetir el procedimiento.

Los datos de cada alternativa que debe leer el programa son los siguientes: número de intervalos, temperatura ambiente, temperatura del combustible en el inicio de la línea, y diámetro interno, espesor, máximo esfuerzo de la tubería. Los intervalos serán de 1 Km de longitud.

En los pasos b) y a) las propiedades físicas que debe calcular el programa son: capacidad calorífica, viscosidad, gravedad específica.

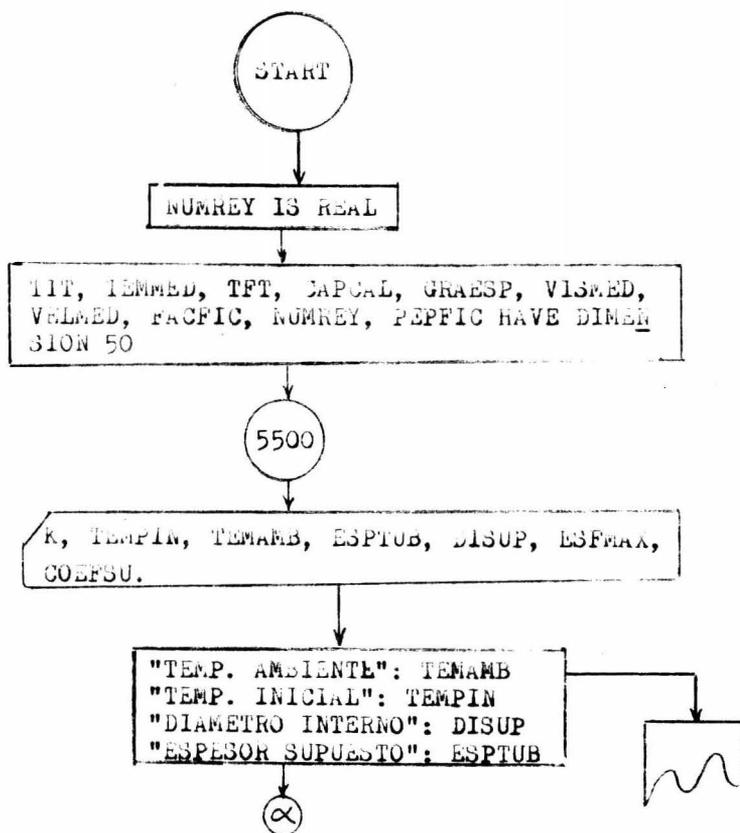
La velocidad empleada para calcular la temperatura final de cada intervalo se calcula con la gravedad específica al inicio del intervalo. La velocidad empleada para calcular el número de Reynolds, se calcula con

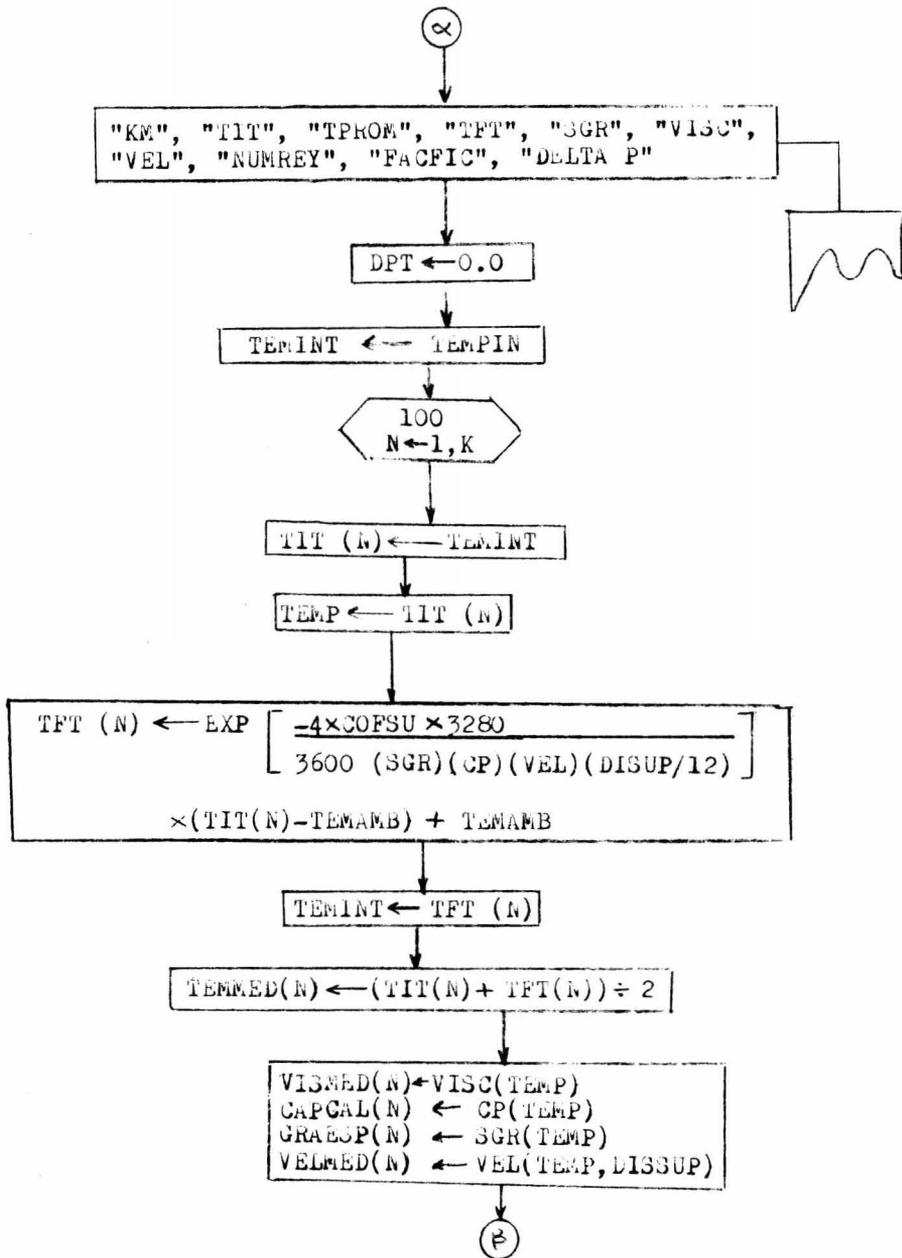
la gravedad específica a la temperatura promedio del -  
intervalo.

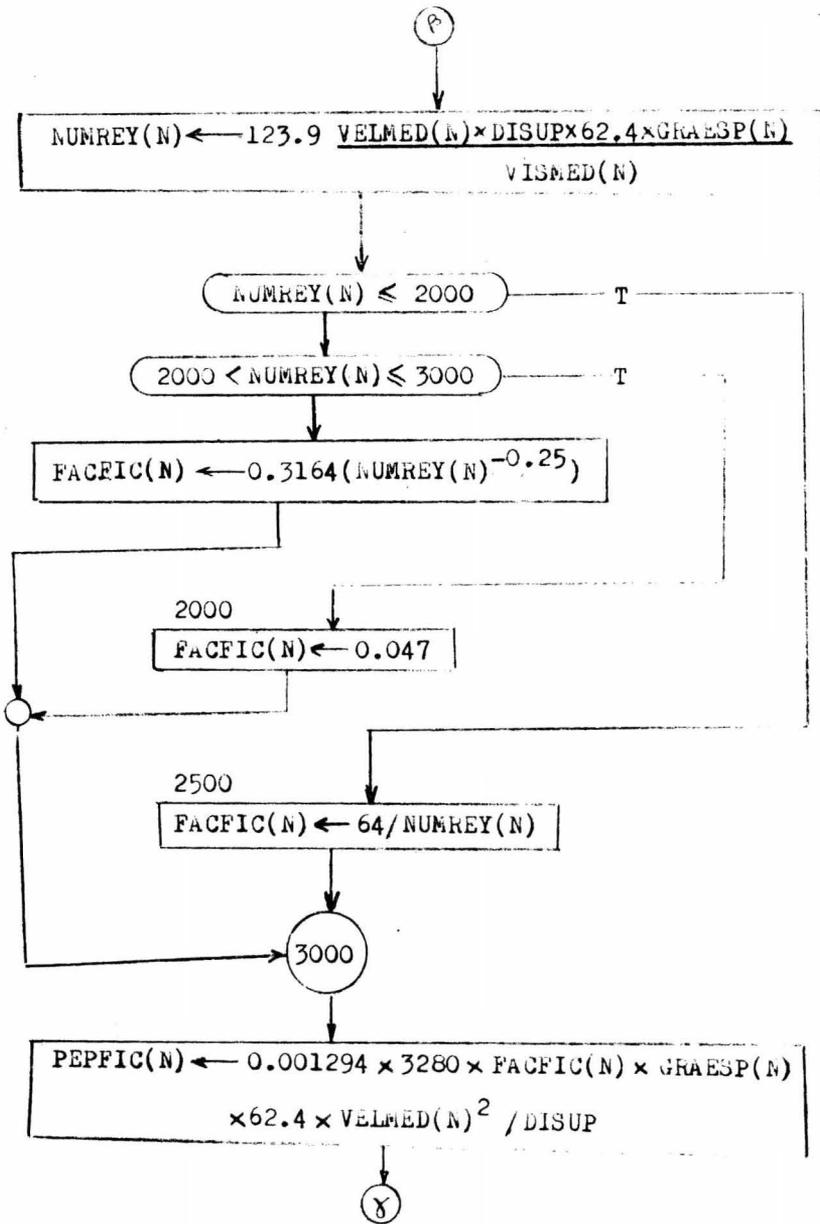
En el punto 2 de éste capítulo se describe el -  
diagrama de flujo y en el punto 3 se da el listado del  
programa.

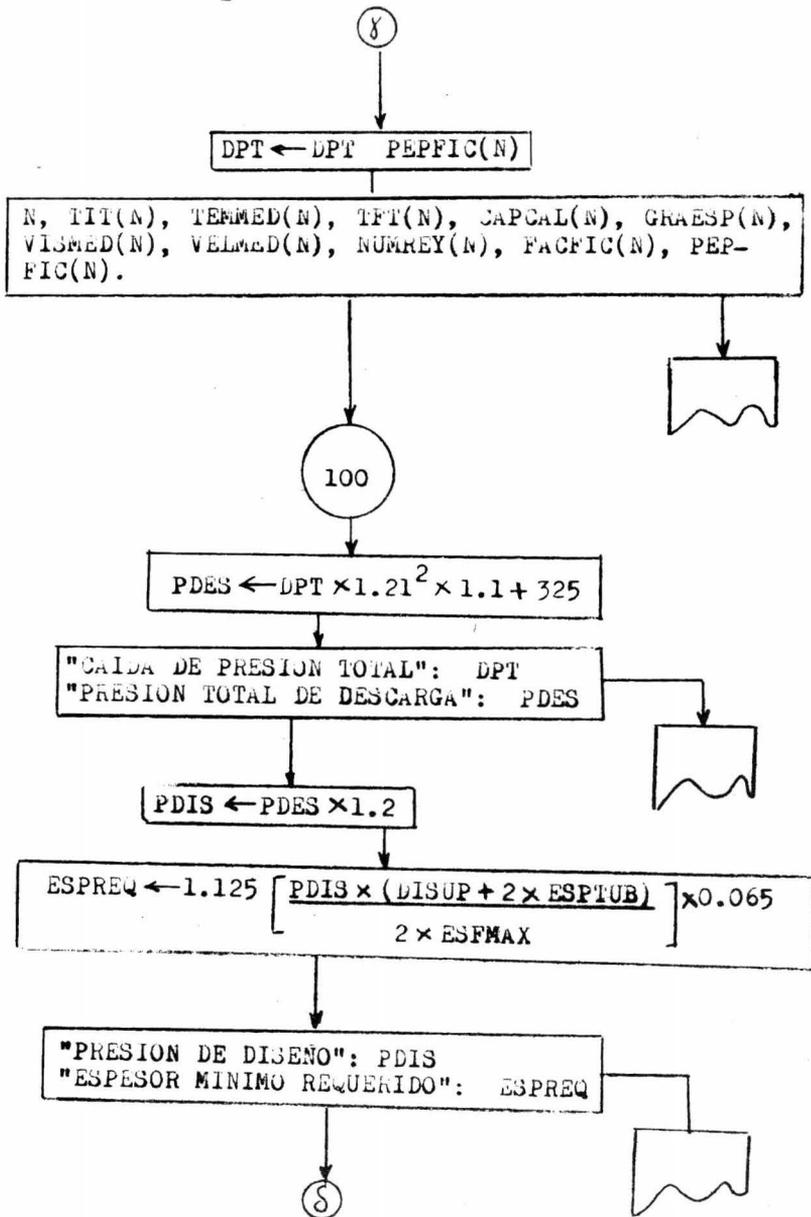
## 2.- DIAGRAMA DE FLUJO.

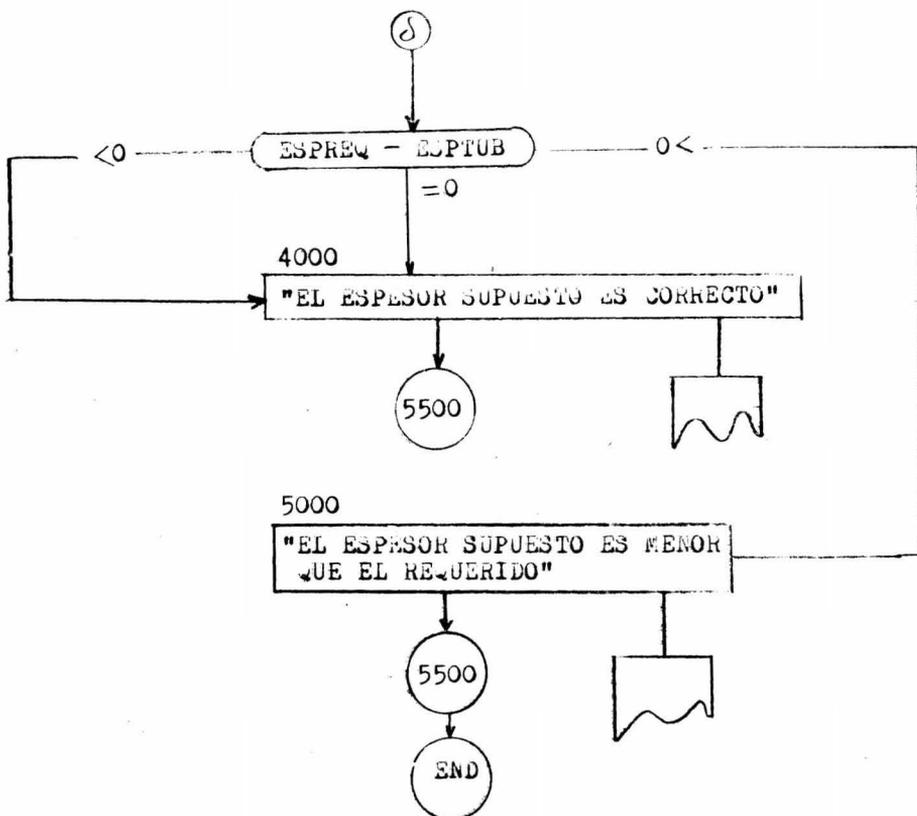
### A.- Programa principal:



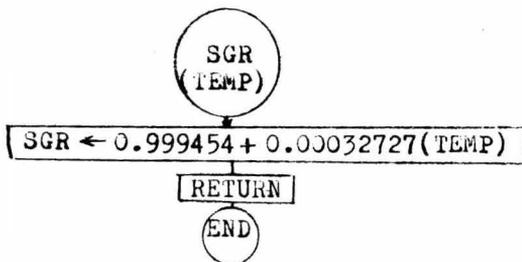




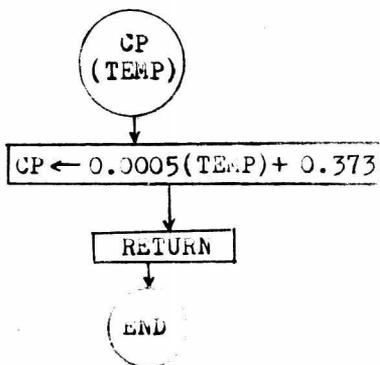




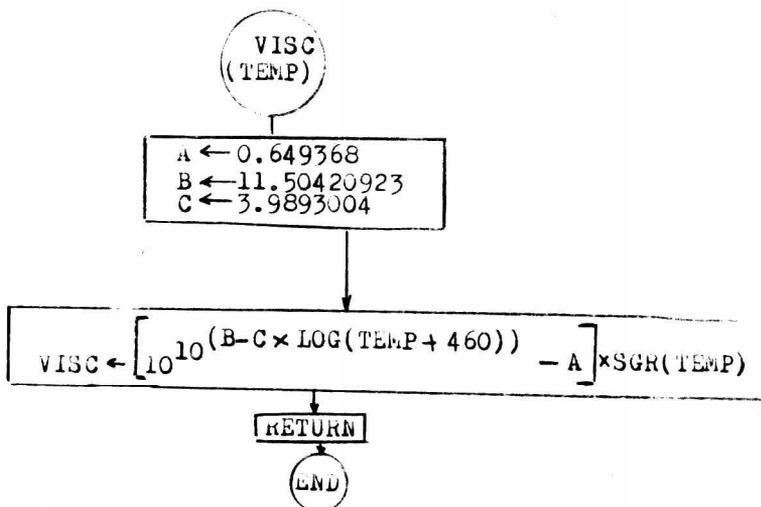
B.- Subprograma para cálculo de la gravedad específica



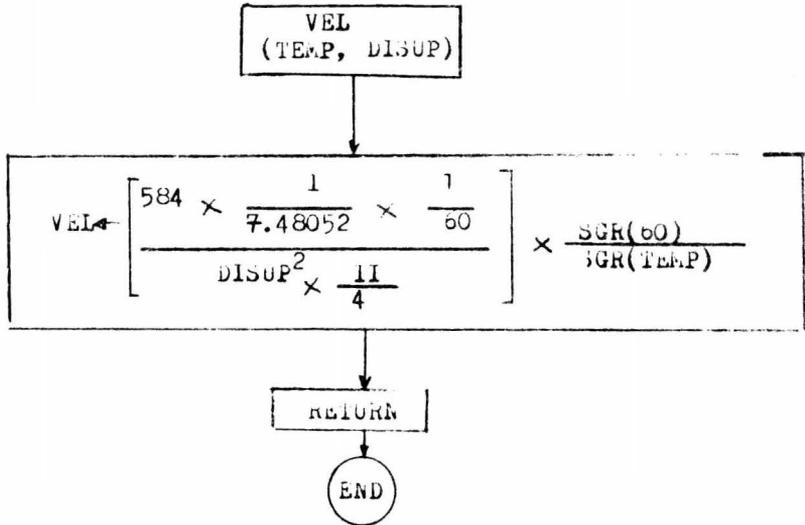
C.- Subprograma para el cálculo de la capacidad calorífica.



D.- Subprograma para el cálculo de la viscosidad.



E.- Subprograma para el cálculo de la velocidad.



El significado de las variables es el siguiente:

TIT: Temperatura inicial del intervalo.  
TEMED: Temperatura media del intervalo.  
TFT: Temperatura final del intervalo.  
CAPCAL: Capacidad calorífica.  
GRAESP: Gravedad específica.  
VISMED: Viscosidad.  
VELMED: Velocidad de flujo.  
NUMREY: Número de Reynolds.  
FACFIF: Factor de fricción.  
PEPFIC: Pérdida de presión por fricción.  
K; Número de intervalos.  
TEMPIN: Temperatura inicial del combustible.  
TEMAMB: Temperatura del medio ambiente.  
ESPTUB: Espesor de tubería.  
DISUP: Diámetro interno de la tubería.  
ESFMAX: Esfuerzo máximo permisible de la tubería.  
COEFSU: Coeficiente total de transferencia de calor.  
TEMINT, TEMP: Temperatura, variables auxiliares.  
DPT: Presión diferencial total.  
PDES: Presión de descarga.  
PDIS: Presión de diseño.  
ESPRE: Espesor mínimo requerido.



```

NO.100=1.0
TIT(N)=TEMP(N)
TEMP=IT(N)
C ECUACION PARA CALCULAR LA TEMPERATURA AL FINAL DE CADA INTERVALO.
C REFERENCIA: PIPELINING OILS BELOW THE POUR POINT--HARVEY, BRI--
C LIER & ARNOLD, THE OIL AND GAS JOURNAL, AUGUST 23, 1971
TFT(N)=(EXP((-COFFSU*0.7010683)/(SGR(TEMP))*CP(TEMP))*VEL(TEMP
,DISUP))*DISUP))*(TIT(N)-TEMPAMB)+TEMPAMB
TEMP=ITFT(N)
C DETERMINACION DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DEL INTERVALO:
TEMPMED(N)=(TIT(N)+TFT(N))/2.0
TEMP=TEMPMED(N)
C CALCULO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y DE LA VELOCIDAD DEL COMBUS--
C TOLEO A LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LA LINEA:
VISMED(N)=VISC(TEMP)
CAPCAL(N)=CP(TEMP)
GRAESP(N)=SGR(TEMP)
VELMED(N)=VEL(TEMP,DISUP)
C CALCULO DEL NUMERO DE REYNOLDS:
C REFERENCIA: FLOW OF FLUIDS, TECHNICAL PAPER NO.410, CRANE,CO.
NUMREY(N)=7731.36*GRAESP(N)*VELMED(N)*DISUP/VISMED(N)
C SELECCION DEL TIPO DE FLUJO:
C REFERENCIA: PAG. 118, PIPING DESIGN FOR PROCESS PLANTS, JOHN WI--
C LEY,1963.
IF(NUMREY(N).LE.2000.0)GO TO 2500
IF(NUMREY(N).GT.2000.0.AND.NUMREY(N).LE.3000.0)GO TO 2000
C CALCULO DEL FACTOR DE FRICCION.
FACFIC(N)=0.3164*(NUMREY(N)**(-0.25))
C REFERENCIA: PAG. 212, FLUID MECHANICS WITH ENGINEERING APPLICA--
C TIONS, DAUGHERTY AND FRANZINI, MC GRAW HILL, 1954.
GO TO 3000
2000 FACFIC(N)=0.047
C REFERENCIA: PAG. 207, OIL AND GAS PIPILINING HANDBOOK, PETROLE--
C UM ENGINEER PUBLISHING CO.
GO TO 3000
2500 FACFIC(N)=64.0/NUMREY(N)
C CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION EN CADA INTERVALO:
C REFERENCIA: FLOW OF FLUIDS, TECHNICAL PAPER NO.410, CRANE,CO.
3000 PEFFIC(N)=264.92631*FACFIC(N)*GRAESP(N)*(VELMED(N)**2)/DISUP
C SUMA DE LAS CAIDAS DE PRESION EN CADA INTERVALO:
DPT=DPT+PEFFIC(N)
YDTEF(6,20)N,TIT(N),TEMPMED(N),TFT(N),CAPCAL(N),GRAESP(N),VISMED(N)
1,VELMED(N),NUMREY(N),FACFIC(N),PEFFIC(N)
20 FORMAT(15,3F7.1,2F8.4,F10.2,F6.2,F10.1,F9.5,F9.3)
100 CONTINUE
C CALCULO DE LA PRESION DE DESCARGA. DEBE NOTARSE QUE 1.452 INCLUYE
C EL FACTOR DE ENSUCIAMIENTO Y EL FACTOR DE SEGURIDAD POR FLUJO.
C 375.0 ES LA SUMA DE LA ALTURA HIDROSTATICA Y LA PRESION REQUERIDA
C AL FINAL DE LA LINEA, Y ES ESPECIFICA PARA EL COMBUSTOLEODUCTO
C CADELYTA-ADOPACAR

```

```

PREFEET*1.452+325.0
WRITE(6,13)OPT,PRES
13 FORMAT(2X"CAIDA DE PRESION TOTAL:"F9.3, ",PRESION TOTAL DE DESCARG
1A:"F9.3)
C   CALCULO DE LA PRESION DE DISENO
    PDIS=PRES*1.2
C   CALCULO DEL ESPESOR MINIMO REQUERIDO:
C   REFERENCIA: PAG. 42, PIPING DESIGN FOR PROCESS PLANTS, HOWARD RASE
C   JOHN WILEY, 1963.
    ESPREQ=1.125*(PDIS*(DISUP+2.*ESPTUB)/(2.*ESFMAX))+0.065
    WRITE(6,14)PDIS,ESPREQ
14  FORMAT(2X"PRESION DE DISENO:"F9.3";ESPESOR MINIMO REQUERIDO:"F6.3"
    "PULG")
C   COMPARACION ENTRE EL ESPESOR SUPUESTO Y EL MINIMO REQUERIDO:
    IF(ESPREQ-ESPTUB)4000,4000,5000
4000  WRITE(6,46)
    40  FORMAT("EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO")
    GO TO 6000
5000  WRITE(6,50)
    50  FORMAT("EL ESPESOR SUPUESTO ES MENOR QUE EL REQUERIDO")
6000  CONTINUE
    GO TO 5500
C   NOTA: LAS SUBFUNCIONES VEL, VISC, CP, SGR, SON ESPECIFICAS DEL
C   PROGRAMA DEL COMBUSTOLEDUCTO CADFREYTA--ARONACA.
    END

```

```

FUNCION: SGR(T)
SGR=0.009454+0.00032727*T
RETURN
END

```

```

FUNCION: CP(U)
CP=0.0005*U+0.373
RETURN
END

```

```

FUNCION: VISC(V)
A=0.049368
B=11.50420923
C=3.9893094
VISC=(10.0**((10.0**((B-C*ALOG10(V+460.0)))-A))*(SGR(V))
RETURN
END

```

```

FUNCION: VEL(Y,Z)
VEL=233.54714/((Z**2)*SGR(Y))
RETURN
END

```

#### 4.- RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA.

En este punto se detallan los resultados del programa, en las tablas IV-1 a IV-3. Es de notarse que solo se imprimen los listados de computadora de las alternativas cuyos espesores supuestos satisfacen los mínimos requeridos.

TABLA IV-1  
TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTIBLE: 230 °F  
TEMPERATURA AMBIENTE: 70 °F

Diámetro interno, in	Espesor, in	Perdidas por fricción, psi	Presión de descarga, psig	Presión de diseño, psig	Espesor mínimo requerido, in
6.125	0.250	2663	4191	5029	0.562
6.065	0.280	2765	4340	5208	0.579
6.001	0.312	2911	4552	5463	0.604
5.937	0.344	3028	4721	5665	0.624
5.875	0.375	3190	4956	5948	0.652
5.761	0.432	3478	5375	6451	0.702
5.625	0.500	3869	5942	7130	0.769
5.501	0.562	4283	6544	7853	0.840
5.375	0.625	4770	7250	8700	0.924
5.187	0.719	5685	8580	10296	1.082
<hr/>					
8.249	0.188	973	1738	2085	0.333
8.219	0.203	982	1751	2101	0.335
8.187	0.219	992	1765	2118	0.337
8.125	0.250	1017	1802	2163	0.343
8.071	0.277	1035	1828	2194	0.347

TABLA IV-1 (Continuación)

8.007	0.312	1059	1863	2234	0.352
7.981	0.322	1066	1874	2248	0.354
7.937	0.344	1082	1897	2276	0.358
<u>7.875</u>	<u>0.375</u>	<u>1103</u>	<u>1927</u>	<u>2312</u>	<u>0.362</u>
7.749	0.438	1161	2011	2413	0.375
7.625	0.500	1215	2090	2507	0.387
7.501	0.562	1281	2185	2622	0.402
-----					
10.374	0.188	591	1183	1419	0.292
10.344	0.203	594	1187	1424	0.293
10.312	0.219	597	1192	1430	0.294
10.250	0.250	603	1201	1441	0.297
10.192	0.279	609	1209	1451	0.297
<u>10.136</u>	<u>0.307</u>	<u>615</u>	<u>1218</u>	<u>1461</u>	<u>0.299</u>
10.062	0.344	625	1233	1479	0.302
10.020	0.365	630	1240	1488	0.303
-----					
11.624	0.188	491	1037	1245	0.288
11.594	0.203	492	1040	1248	0.288
11.562	0.219	494	1043	1251	0.289
11.500	0.250	498	1049	1258	0.290
11.438	0.281	502	1054	1265	0.291
<u>11.376</u>	<u>0.312</u>	<u>500</u>	<u>1060</u>	<u>1272</u>	<u>0.293</u>
11.340	0.330	509	1064	1277	0.293
11.312	0.344	511	1077	1280	0.294

TABLA IV-1 (Continuación)

11.250	0.375	510	1075	1290	0.296
11.188	0.406	521	1081	1297	0.297
<hr/>					
13.580	0.210	398	903	1084	0.291
13.562	0.219	399	904	1085	0.291
13.500	0.250	401	907	1089	0.292
13.438	0.281	403	911	1093	0.293
<u>13.376</u>	<u>0.312</u>	<u>406</u>	<u>914</u>	<u>1098</u>	<u>0.294</u>
13.312	0.344	408	917	1101	0.295
13.250	0.375	410	921	1105	0.296
13.188	0.406	412	924	1109	0.296
<hr/>					
15.594	0.203	338	816	980	0.299
15.562	0.219	339	817	981	0.299
15.500	0.250	341	820	984	0.300
15.438	0.281	342	822	986	0.300
<u>15.376</u>	<u>0.312</u>	<u>344</u>	<u>824</u>	<u>989</u>	<u>0.301</u>
15.312	0.344	345	827	992	0.302
15.250	0.375	347	829	995	0.302

TABLA IV-2

TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTIBLE: 250 °F  
 TEMPERATURA AMBIENTE: 70 °F

Diámetro interno, in	Espesor, in	Perdidas por fricción, psi	Presión de descarga, psig	Presión de diseño, psig	Espesor mínimo requerido in
6.125	0.250	2412	3827	4592	0.518
6.065	0.280	2545	4020	4824	0.541
6.001	0.312	2657	4183	5020	0.561
5.937	0.344	2817	4415	5298	0.588
5.875	0.375	2942	4597	5516	0.610
5.761	0.432	3239	5028	6034	0.661
5.625	0.500	3683	5673	6808	0.737
5.501	0.562	4063	6238	7486	0.804
5.375	0.625	4519	6887	8264	0.881
5.187	0.719	5289	8005	9606	1.014
<hr/>					
8.249	0.188	758	1426	1711	0.285
8.219	0.203	766	1437	1725	0.287
8.187	0.219	775	1450	1740	0.289
8.125	0.250	790	1473	1767	0.292
8.071	0.277	813	1505	1806	0.297
<u>8.001</u>	<u>0.312</u>	<u>834</u>	<u>1536</u>	<u>1844</u>	<u>0.302</u>
7.981	0.322	841	1546	1855	0.303
7.937	0.344	855	1567	1880	0.307
7.875	0.375	874	1594	1913	0.311
7.749	0.438	927	1672	2006	0.323
7.625	0.500	977	1743	2092	0.334
7.501	0.562	1038	1833	2199	0.348

TABLA IV-2 (Continuación)

10.374	0.188	433	954	1145	0.248
10.344	0.213	435	957	1149	0.249
10.312	0.219	438	961	1153	0.250
10.250	0.250	443	968	1162	0.251
<u>10.192</u>	<u>0.279</u>	<u>448</u>	<u>975</u>	<u>1170</u>	<u>0.252</u>
10.136	0.307	452	982	1178	0.254
10.062	0.344	458	990	1188	0.255
10.020	0.365	464	999	1198	0.257
<hr/>					
11.624	0.188	358	845	1013	0.246
11.594	0.203	359	846	1016	0.247
11.562	0.219	361	849	1018	0.247
<u>11.500</u>	<u>0.250</u>	<u>364</u>	<u>854</u>	<u>1025</u>	<u>0.248</u>
11.438	0.281	367	858	1030	0.249
11.376	0.312	370	863	1035	0.250
11.340	0.330	372	865	1038	0.251
11.312	0.344	373	867	1041	0.251
11.250	0.375	376	871	1046	0.252
11.188	0.406	379	876	1051	0.253
<hr/>					
13.580	0.210	295	754	905	0.254
13.562	0.219	296	754	905	0.254
13.500	0.250	297	756	908	0.254
<u>13.438</u>	<u>0.281</u>	<u>299</u>	<u>759</u>	<u>910</u>	<u>0.255</u>
13.376	0.312	300	761	912	0.255
13.312	0.344	302	763	916	0.256

TABLA IV-2 (Continuación)

13.250	0.375	303	765	918	0.257
13.188	0.406	305	768	921	0.257
<hr/>					
15.594	0.203	258	700	840	0.265
15.562	0.219	259	700	840	0.265
15.500	0.250	259	702	842	0.266
<u>15.438</u>	<u>0.281</u>	<u>260</u>	<u>702</u>	<u>844</u>	<u>0.266</u>
15.376	0.312	261	704	845	0.267
15.312	0.344	262	706	847	0.267
15.250	0.375	263	707	849	0.267

TABLA IV-3

TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTIBLE: 285 °F  
 TEMPERATURA AMBIENTE: 70 °F

Diámetro interno, in	Espesor, in	Perdidas por fricción, psi	Presión de descarga, psig	Presión de diseño, psig	Espesor mínimo requerido in
6.125	0.250	2162	3464	4157	0.465
6.065	0.280	2260	3606	4327	0.492
6.001	0.312	2348	3759	4415	0.493
5.937	0.344	2422	3815	4721	0.502
5.875	0.375	2596	4094	4913	0.550
5.761	0.432	2833	4439	5327	0.591
5.625	0.500	3153	4904	5884	0.646
5.501	0.562	3485	5385	6462	0.703
5.375	0.625	3867	5940	7128	0.769
5.187	0.719	4539	6916	8299	0.885
<hr/>					
8.249	0.188	569	1153	1383	0.243
8.219	0.203	577	1163	1395	0.244
8.187	0.219	585	1174	1409	0.246
8.125	0.250	608	1208	1450	0.251
<u>8.071</u>	<u>0.277</u>	<u>624</u>	<u>1230</u>	<u>1477</u>	<u>0.255</u>
8.001	0.312	642	1258	1508	0.259
7.981	0.322	648	1267	1520	0.260
7.937	0.344	670	1297	1557	0.265
7.875	0.375	690	1327	1593	0.270
7.749	0.438	741	1401	1682	0.281
7.501	0.562	853	1563	1876	0.306

Tabla IV-3 (Continuación)

10.374	0.188	279	730	876	0.205
10.344	0.203	281	733	879	0.206
<u>10.312</u>	<u>0.219</u>	<u>283</u>	<u>735</u>	<u>883</u>	<u>0.206</u>
10.250	0.250	287	741	889	0.207
10.192	0.279	290	747	896	0.209
10.136	0.307	294	752	902	0.210
10.062	0.344	299	758	910	0.211
10.020	0.365	304	766	919	0.212
<hr/>					
11.624	0.188	221	647	776	0.204
11.594	0.203	223	650	779	0.204
<u>11.562</u>	<u>0.219</u>	<u>224</u>	<u>651</u>	<u>781</u>	<u>0.205</u>
11.500	0.250	226	654	785	0.205
11.438	0.281	228	656	787	0.206
11.376	0.312	230	659	791	0.206
11.340	0.330	231	661	793	0.207
11.312	0.344	232	662	795	0.207
11.250	0.375	234	665	799	0.208
11.188	0.406	237	669	802	0.209
<hr/>					
13.580	0.210	182	590	708	0.213
<u>13.562</u>	<u>0.219</u>	<u>183</u>	<u>590</u>	<u>708</u>	<u>0.213</u>
13.500	0.250	183	591	709	0.213
13.438	0.281	184	592	711	0.213
13.376	0.312	185	594	712	0.214

Tabla IV-3 (Continuación)

13.312	0.344	186	595	713	0.214
13.250	0.375	187	597	716	0.214
13.188	0.406	188	598	717	0.215
<hr/>					
15.594	0.203	165	564	677	0.226
15.562	0.219	165	564	677	0.226
<u>15.500</u>	<u>0.250</u>	<u>165</u>	<u>565</u>	<u>678</u>	<u>0.227</u>
15.438	0.281	166	565	678	0.227
15.376	0.312	166	566	679	0.227
15.312	0.344	167	567	680	0.228
15.250	0.375	168	567	681	0.228

## 5.- CONCLUSIONES.

En las tablas IV-1, IV-2, IV-3 las alternativas subrayadas son aquellas que satisfacen el espesor mínimo requerido. La primera conclusión que se obtiene es la eliminación de la tubería con diámetro de 6", debido a que el espesor requerido resulta mayor que los disponibles comercialmente.

En la tabla IV-4 se muestran las alternativas - que satisfacen los espesores mínimos requeridos, y a continuación sus listados de computadora, en las páginas 1A a 15A al final de la tesis.

TABLA IV-4

ALTERNATIVAS QUE SATISFACEN EL ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO  
(TEMPERATURA AMBIENTE 70 °F)

Temperatura inicial del combustible, °F	Diámetro nominal, in	Espesor, in	Pérdidas por fricción, psi	Presión de: descarga psig	diseño psig
230	8	0.375	1103	1927	2312
230	10	0.307	615	1218	1461
230	12	0.312	506	1060	1272
230	14	0.312	406	914	1098
230	16	0.312	344	824	989
250	8	0.312	834	1536	1844
250	10	0.279	448	975	1170
250	12	0.250	364	854	1025
250	14	0.281	299	759	910
250	16	0.281	260	703	844
285	8	0.277	624	1230	1477
285	10	0.219	283	735	883
285	12	0.219	224	651	781
285	14	0.219	183	590	708
285	16	0.250	165	565	678

CAPITULO V

COSTOS DE OPERACION

## CAP.V COSTOS DE OPERACION

Los costos de operación están constituidos fundamentalmente por el costo de energía eléctrica consumida en el bombeo, y el costo de vapor de calentamiento. No se consideran gastos de personal de operación y de mantenimiento debido a que se consideran que son los mismos para cualquier alternativa.

### 1.- COSTO DE BOMBEO.

La potencia en la flecha requerida por las bombas, se calcula con la siguiente ecuación (22):

$$\text{bhp} = \frac{Q \Delta P}{1714 e_p}$$

donde: bhp = potencia en la flecha, HP  
Q = gasto, gal/min  
 $\Delta P$  = presión diferencial, psi  
 $e_p$  = eficiencia de la bomba

El costo de bombeo se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Costo total} = \text{bhp} \times \frac{\$ \text{costo}}{\text{hp} \times \text{hr}} \times \frac{\text{No horas}}{\text{año}} \times \text{FDVP}$$

donde: FDVP = Factor de valor presente, años

El factor de valor presente que va a ser usado en el cálculo es 6.833 y está calculado para 14.285 años, como se indica en el punto 3 del cap. II de esta tesis.

El costo de energía eléctrica es: 0.15/np-hr.  
 y el número de horas anuales de operación es de 8400  
 horas, como también se indica en el punto 3 del cap. -  
 II de esta tesis.

Simplificando la ecuación anterior se obtiene:

$$\text{costo total, \$} = \text{bhp} \times 8609.58$$

Los resultados del cálculo de la potencia y el  
 costo del consumo de energía para cada una de las al-  
 ternativas de la tabla IV-4, se muestran en las tablas  
 V-1 a V-3.

TABLA V-1  
 COSTO DE BOMBEO PARA UNA  
 TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTIBLE DE 230 °F

Diámetro Nominal, in	Presión di- ferencial, psi	eficiencia	bhp	\$costo total
8	1927	0.66	995	8566532
10	1218	0.70	593	5105481
12	1060	0.712	509	4382276
14	914	0.715	436	3753777
16	824	0.733	383	3297469

TABLA V-2  
 COSTOS DE BOMBEO PARA UNA  
 TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTIBLE DE 250 °F

Diámetro nominal, in	Presión diferencial, psi	eficiencia	bhp	\$costo total
8	1536	0.70	748	6439966
10	975	0.72	461	3969016
12	854	0.73	399	3435222
14	759	0.738	350	3013353
16	703	0.795	322	2772285

TABLA V-3  
 COSTOS DE BOMBEO PARA UNA  
 TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTIBLE DE 285 °F

Diámetro nominal, in	Presión diferencial, psi	eficiencia	bhp	\$costo total
8	1230	0.71	590	5079562
10	735	0.74	338	2910038
12	651	0.75	296	2548436
14	590	0.735	274	2359025
16	565	0.72	267	2298758

## 2.- COSTOS DE CALENTAMIENTO:

En la tabla II.2 de esta tesis se plantearon 5 posibles alternativas para el calentamiento del combustóleo, dependiendo de la temperatura a la que se calentara el combustóleo y del nivel de presión empleado como medio de calentamiento. Las alternativas planteadas fueron:

Temperatura combustóleo °F	Nivel de presión del vapor
230	50#
230	275#
250	50#
250	275#
285	275#

La ecuación empleada en el cálculo de la cantidad de calor requerida para calentar el combustóleo es (23):

$$Q = mC\Delta t$$

donde:  $m$  = masa, lb/hr

$C$  = capacidad calorífica  $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}}$  a la temperatura media

$\Delta t$  = temperatura final menos la temperatura inicial °F. Nótese que la temperatura inicial es de 190 °F

$Q$  = calor requerido, Btu/hr

Para calcular la cantidad de vapor requerida se emplea la ecuación:

$$v = \frac{Q}{\lambda}$$

donde:  $\lambda$  = calor latente de vaporización, Btu/lb  
 $v$  = cantidad de vapor, lb

Para calcular la capacidad calorífica del combustible se empleó la ecuación 10-III de esta tesis:

$$C_p \left( \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}} \right) = 0.0005 T(^{\circ}\text{F}) + 0.373$$

Para calcular el costo del vapor de calentamiento se empleó la ecuación:

$$\text{costo } \$ = \text{gasto } \frac{\text{ton}}{\text{hr}} \times \frac{\$ \text{ costo}}{\text{ton}} \times \frac{\text{No de horas}}{\text{año}} \times \text{FDVP}$$

donde FDVP: factor de valor presente.

En el punto 3 del cap. II se indica lo siguiente: a) el factor de valor presente para 14.285 años es 6.833; b) el costo del vapor de 50# es \$6/ton y el costo del vapor de 275# es \$10/ton; c) el número de horas por año es de 8400 hr.

Simplificando la ecuación anterior por la sustitución de sus valores:

$$\$ \text{ costo (50\#)} = \text{gasto vapor } \frac{\text{ton}}{\text{hr}} \times 344383$$

$$\$ \text{ costo (275\#)} = \text{gasto vapor } \frac{\text{ton}}{\text{hr}} \times 573972$$

La masa de combustóleo calentada es:

$$m = 584 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ft}^3}{7.48052 \text{ gal}} \times 0.937 \times 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$m = 273878 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

donde: 0.937 es la gravedad específica del combustóleo a 190 °F, calculada con la ecuación 9-III de ésta tesis.

A continuación se calculan los consumos de vapor:

Caso A: Temperatura final del combustóleo: 230 °F  
 Nivel de presión de vapor: 50#  
 Temperatura media combustóleo:  $\frac{230+190}{2} = 210^\circ\text{F}$   
 Capacidad calorífica del combustóleo:  
 $0.0005 \times 210 + 0.373 = 0.478 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$   
 Calor de vaporización (50#): 911.7 Btu/lb  
 $V = \frac{273878 \times 0.478 \times (230-190)}{911.7} = 5744 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$

Caso B: Temperatura final combustóleo: 230 °F  
 Nivel de presión de vapor: 275#  
 Temperatura media combustóleo:  $\frac{230+190}{2} = 210^\circ\text{F}$   
 Capacidad calorífica del combustóleo:  
 $0.0005 \times 210 + 0.373 = 0.478 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$   
 Calor de vaporización (275#): 812.4 Btu/lb  
 $v = \frac{273878 \times 0.478 \times (230-190)}{812.4} = 6446 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$

Caso C: Temperatura final combustóleo: 250 °F  
 Nivel de presión de vapor: 50#  
 Temperatura media combustóleo:  $\frac{250+190}{2} = 220$  °F  
 Capacidad calorífica del combustóleo:  
 $0.0005 \times 220 + 0.373 = 0.483$  Btu/lb °F  
 Calor de vaporización (50#) = 911.7 Btu/lb  
 $v = \frac{273878 \times 0.483 \times (250-190)}{911.7} = 8706 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$

Caso D: Temperatura final combustóleo: 250 °F  
 Nivel de presión de vapor: 275#  
 Temperatura media combustóleo:  $\frac{250+190}{2} = 220$  °F  
 Capacidad calorífica del combustóleo:  
 $0.0005 \times 220 + 0.373 = 0.483$  Btu/lb °F  
 Calor de vaporización (275#) = 812.4 Btu/lb  
 $v = \frac{273878 \times 0.483 \times (250-190)}{812.4} = 9770 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$

Caso E: Temperatura final combustóleo: 285 °F  
 Nivel de presión de vapor: 275#  
 Temperatura media combustóleo:  $\frac{285+190}{2} = 237.57$   
 Capacidad calorífica combustóleo:  
 $0.0005 \times 237 + 0.373 = 0.492$   
 Calor de vaporización (275#) = 812.4 Btu/lb  
 $v = \frac{273878 \times 0.492 \times (285-190)}{812.4} = 15757 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$

En la tabla V-4 se muestran los resultados del -  
 costo de vapor.

TABLA V-4  
COSTO DEL VAPOR DE CALENTAMIENTO

Temperatura de calentamiento del combustible ° F	Nivel de presión del vapor, psig	Consumo de vapor, lb/hr	Consumo de vapor ton/hr	Costo del vapor, \$
230	50	5744	2.608	898151
230	275	6446	2.926	1679442
250	50	8706	3.953	1361346
250	275	9770	4.436	2546140
285	275	15757	7.154	4106196

En 14.285 años a valor presente.

CAPITULO VI

COSTO DE LA INVERSION INICIAL

## CAP. VI COSTOS DE LA INVERSIÓN INICIAL

En el costo de la inversión inicial se incluye - el costo de tuberías (tubería e instalación), el equipo de bombeo (bombas y motores) y los calentadores de combustóleo.

### 1.- COSTO DE TUBERIAS.

El costo de la tubería para determinada alternativa se obtiene multiplicando los resultados de la tabla IV-4 por sus precios correspondientes indicados en la tabla II-1. Los resultados se indican en las tablas VI-1 a VI-3. Nótese que la longitud del combustoleoducto es de 36 Km, y que el costo de tuberías es el costo total, es decir, es el costo del tubo más instalación, anticorrosivos, pruebas, etc.

TABLA VI-1

COSTO DE TUBERIAS CON TEMPERATURA  
INICIAL DEL COMBUSTOLEO IGUAL A 230 °F.

Diámetro Nominal, in	Espesor de tubería, in	Costo de tubería, \$/m	Costo total, \$
8	0.375	277.622	9944392
10	0.307	304.507	10962252
12	0.312	379.374	13657464
14	0.312	406.690	14640840
16	0.312	565.810	20369160

TABLA VI-2  
 COSTO DE TUBERIAS CON TEMPERATURA  
 INICIAL DEL COMBUSTOLEO IGUAL A 250 °F.

Diámetro Nominal, in	Espesor de tubería, in	Costo de tubería, \$/m	Costo total, \$
8	0.312	251.267	9058572
10	0.279	290.272	10449792
12	0.250	329.543	11863548
14	0.281	385.840	13890240
16	0.281	533.525	19206900

TABLA VI-3  
 COSTO DE TUBERIA CON TEMPERATURA  
 INICIAL DEL COMBUSTOLEO IGUAL A 285 °F.

Diámetro Nominal, in	Espesor de tubería, in	Costo de tuberías, \$/m	Costo total, \$
8	0.277	238.700	8593200
10	0.219	258.175	9294300
12	0.219	310.204	11167344
14	0.219	342.220	12319920
16	0.250	495.955	17854380

## 2.- COSTO DEL EQUIPO DE BOMBEO.

Para la estimación del costo de las bombas se elaboró la tabla VI-4, a partir de cotizaciones comerciales. El costo de las bombas dado en la tabla incluye además - el costo de la base y el costo del acoplamiento.

TABLA VI-4  
COSTO DE BOMBAS  
FLUJO BOMBEO 584 gpm

Rango de presión diferencial, psi.	Número de etapas	Costo, \$
2504-1364	8	243700
1364-1104	6	217600
1104- 823	4	195300
823- 541	4	173500
541- 433	4	136000

Para estimar el costo de los motores, se hizo a partir de cotizaciones comerciales. Los resultados se indican en la tabla VI-5.

TABLA VI-5  
COSTO DE MOTORES

Potencia Nominal, HP	Costo, \$
200	69437
250	101162
300	128312
400	145358

TABLA VI-5 (Continuación)

COSTO DE MOTORES

Potencia Nominal, HP	Costo, \$
500	173458
600	192175
800	276392
1000	304328
1200	332542

En la tabla VI-6 se indica el costo de las bombas incluyendo la base y el acoplamiento.

En la tabla VI-7 se indica el costo de los motores. La potencia de operación ya fué calculada y se indicó en las tablas V-1, V-2, V-3. La potencia de diseño es igual a 1.18 veces la potencia requerida de operación (24) asumiéndose así que el motor cubre toda la curva de la bomba. El costo de los motores fué leído de la gráfica de la fig. 6.1

En la tabla VI-8 se indica el costo del equipo de bombeo, o sea la suma de los costos indicados en las tablas VI-6 y VI-7. El costo total señalado en esta tabla es el costo de dos bombas una de operación y otra de reserva.

TABLA VI-6  
 COSTO DE BOMBAS  
 GASTO 584 gpm

Temperatura inicial del combustible, °F	Diámetro nominal, in	Presión diferencial, psi	Costo, \$
230	8	1927	243700
230	10	1218	217600
230	12	1060	195300
230	14	914	195300
230	16	824	173500
250	8	1536	243700
250	10	975	195300
250	12	854	195300
250	14	759	173500
250	16	703	173500
285	8	1230	217600
285	10	735	173500
285	12	651	173500
285	14	590	173500
285	16	565	173500

TABLA VI-7  
COSTO DE MOTORES

Temperatura inicial del combustible °F	Diámetro nominal in	Potencia operación ohp	Potencia de dise- ño, ohp	Potencia nominal HP	Costo, \$
230	8	995	1174	1200	332542
230	10	593	700	800	276392
230	12	509	600	600	192175
230	14	436	514	600	192175
230	16	383	452	500	173458
250	8	748	883	1000	304328
250	10	461	544	600	192175
250	12	399	471	500	173458
250	14	350	413	500	173458
250	16	322	380	400	145359
285	8	590	696	800	276392
285	10	338	399	400	145358
285	12	296	349	400	145358
285	14	274	323	400	145358
285	16	267	315	400	145358

TABLA VI-8  
 COSTO EQUIPO DE BOMBEO

Temperatura inicial del combustible, °F	Diámetro nominal in	Costo bomba, base y aco- plamiento, \$	Costo motor, \$	Costo total, \$
230	8	243700	332542	1152448
230	10	217600	276392	987984
230	12	195300	192175	774950
230	14	195300	192175	774950
230	16	173500	173458	693916
250	8	243700	304328	1096056
250	10	195300	192175	774950
250	12	195300	173458	737516
250	14	173500	173458	693916
250	16	173500	145358	637716
285	8	217600	276392	987984
285	10	173500	145358	637716
285	12	173500	145358	637716
285	14	173500	145358	637716
285	16	173500	145359	637716

### 3.- ESTIMADO DEL COSTO DE LOS CALENTADORES DE COMBUSTO LEO.

Los principales factores que influyen en el costo de los cambiadores de calor son los siguientes (25):

- 1.- Area de transferencia;
- 2.- Diámetro y calibre de los tubos;
- 3.- Longitud de los tubos;
- 4.- Presión;
- 5.- Materiales de construcción para tubos y coraza;
- 6.- Tamaño y tipo de baffles;
- 7.- Soportes auxiliares e instalación;
- 8.- Características especiales, como cabezal flotante o tubos en U.

Para estimar el costo de los cambiadores se consideró lo siguiente: A.- Por especificación del proyecto, los tubos son de 20ft de longitud y 3/4" de diámetro, 16 BWG; B.- El combustóleo pasa por los tubos, - afectando la presión del fluido muy poco el costo de los mismos (26); C.- El material de construcción de tubo y coraza es acero al carbón; D.- Los tubos son tubos en U. Como conclusión se tiene, que la única variable que realmente afecta el costo de los cambiadores - es el área de transferencia de calor.

De cotizaciones comerciales, se obtuvo la gráfica de la fig. 6.1. Los cambiadores considerados en la elaboración de la gráfica reúnen las características - indicadas en el párrafo anterior.

Para estimar las áreas de los cambiadores se empleó la ecuación (27):

$$Q = A \times U \times LMTD$$

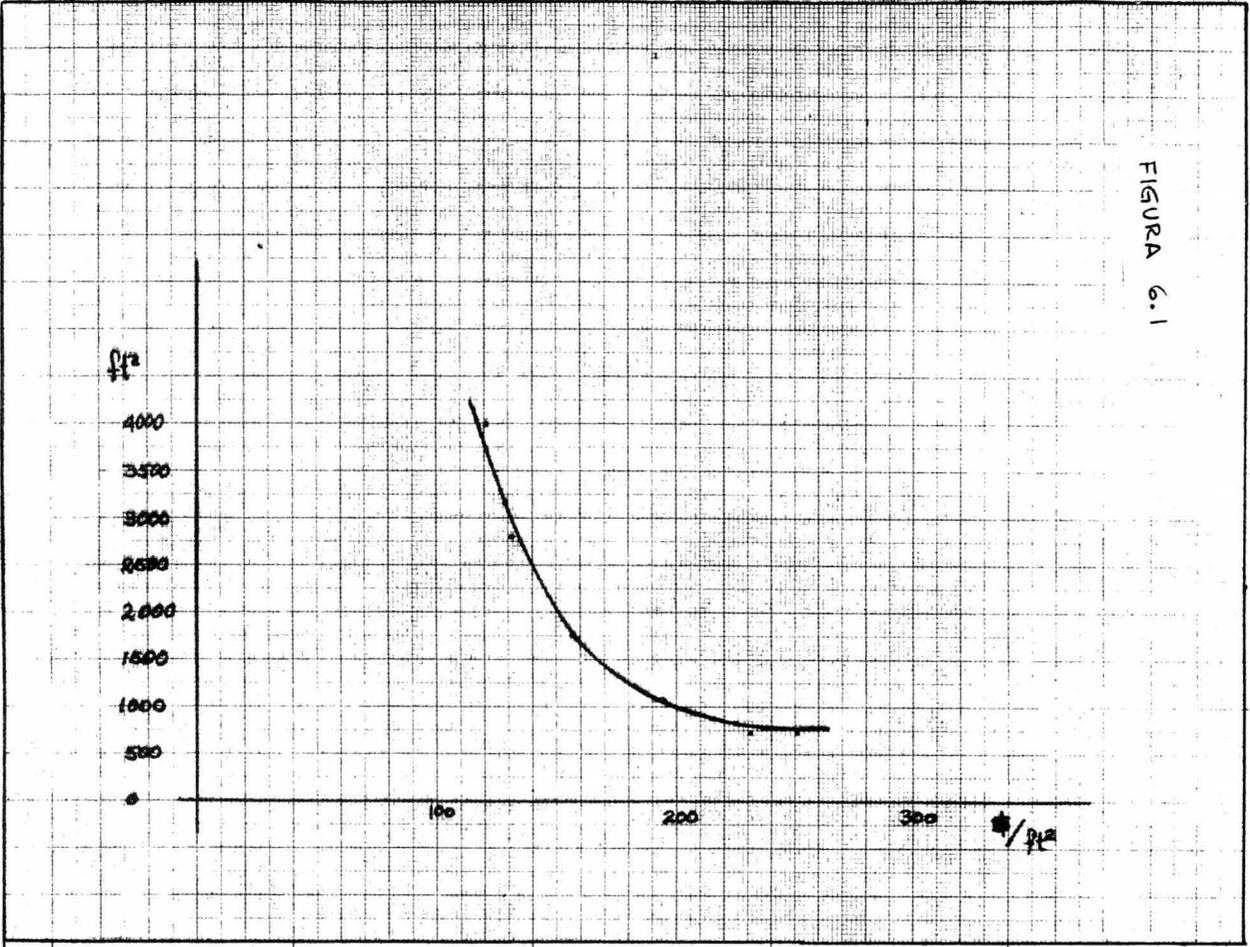


FIGURA 6.1

donde:  $q$  = flujo de calor, Btu/hr  
 $A$  = área de transferencia, ft<sup>2</sup>  
 $U$  = coeficiente de transferencia de calor  
 Btu/hr ft<sup>2</sup> °F  
 LMTD = temperatura media logarítmica, °F

Para calcular la temperatura media logarítmica, se empleó la ecuación (27):

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln((T_1 - t_2)/(T_2 - t_1))}$$

donde:  $T_i$  = fluido enfriado  
 $t_i$  = fluido calentado

El coeficiente de transferencia de calor  $U$  se consideró igual a 50 Btu/hr ft<sup>2</sup> °F (28) siendo el fluido caliente vapor y el combustible un compuesto orgánico pesado.

Para calcular el flujo de calor se empleó la ecuación (23):

$$q = m \times C \times \Delta t$$

donde  $m$  = masa de combustible, lb/hr  
 $C$  = calor específico, Btu/lb °F  
 $\Delta t$  = temperatura final menos temperatura inicial.

Considerando 0.916 como la gravedad específica promedio del combustible, la masa calentada de combustible es:

$$m = 584 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 267472 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

La capacidad calorífica se consideró en promedio igual a 0.48 Btu/lb °F

A continuación se presenta el cálculo del calor transferido, la temperatura media logarítmica y el área requerida para cada uno de los posibles alternativas de calentamiento. Nótese que la temperatura del combustóleo a la entrada del cambiador es 190 °F.

Caso A: Temperatura final del combustóleo: 230 °F

Temperatura vapor de calentamiento: -  
300 °F (sat)

$$Q = 267472 \times 0.48 \times (230-190) = 5135462 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(300-230) - (300-190)}{\ln \frac{(300-230)}{(300-190)}} = 88.5 \text{ °F}$$

$$A = \frac{5135462}{50 \times 88.5} = 1161 \text{ ft}^2$$

Caso B: Temperatura final del combustóleo 230 °F

Temperatura del vapor de calentamiento:  
415 °F

$$Q = 267472 \times 0.48 \times (230-190) = 5135462 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(415-230) - (415-190)}{\ln \frac{(415-230)}{(415-190)}} = 204.3 \text{ °F}$$

$$A = \frac{5135462}{50 \times 204.3} = 503 \text{ ft}^2$$

Caso C: Temperatura final del combustóleo: 250 °F

Temperatura del vapor de calentamiento:  
300 °F

$$Q = 267472 \times 0.48 \times (250-190) = 7703194 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(300-250) - (300-190)}{\ln \frac{(300-250)}{(300-190)}} = 76.1 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = \frac{7703194}{50 \times 76.1} = 2025 \text{ ft}^2$$

Caso D: Temperatura final del combustible: 250<sup>o</sup>F  
 Temperatura del vapor de calentamiento: 415<sup>o</sup>F

$$Q = 267472 \times 0.48 \times (250-190) = 7703194$$

$$\text{LMTD} = \frac{(415-250) - (415-190)}{\ln \frac{(415-250)}{(415-190)}} = 193.45 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = \frac{7703194}{50 \times 193.45} = 797 \text{ ft}^2$$

Caso E: Temperatura final del combustible: 285<sup>o</sup>F

Temperatura del vapor de calentamiento: 415<sup>o</sup>F

$$Q = 267472 \times 0.48 \times (285-190) = 12196723 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(415-285) - (415-190)}{\ln \frac{(415-285)}{(415-190)}} = 173.18 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = \frac{12196723}{50 \times 173.18} = 1409 \text{ ft}^2$$

Por último, en la tabla VI-9 se indica el costo de los calentadores. El costo por área fué leído de la fig. 6.1. El costo total es el de los cambiadores: uno en operación y otro de reserva.

TABLA VI-9

COSTO DE CAMBIADORES

Temperatura final del combustible ° F	Nivel de presión de vapor, psig	Area requerida ft <sup>2</sup>	Costo por área \$/ft <sup>2</sup>	Costo total** \$
230	50	1161	185	429570
230	275	503	290*	291740
250	50	2025	149	603450
250	275	797	260	414440
285	275	1409	168	473424

\* Estimado

\*\* Dos cambiadores

CAPITULO VII

CONCLUSIONES.

## CAP. VII CONCLUSIONES

### 1.- COSTOS TOTALES.

En las tablas VII-1 a VII-5 se muestran los resultados del estimado de los costos totales para cada una de las alternativas propuestas en el punto 4 del - cap. II de ésta tesis.

En el costo indicado como inversión inicial se incluyen los costos de tuberías, costos de bombas y - los costos de calentadores. En los costos de operación se incluyen los costos de bombeo y los costos de calentamiento.

TABLA VII-1  
 TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTIBLE: 230 °F  
 PRESION DE VAPOR DE CALENTAMIENTO: 50 psig

Diámetro nominal, in	Inversión inicial, \$	Costos de operación, \$	Costo total, \$
8	11526410	9464683	20991093
10	12379806	6003632	18383438
12	14861984	5280427	20142411
14	15845360	4651928	20497288
16	21492646	4195620	25688266

TABLA VII-2

TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTOLEO: 230°F  
 PRESION DE VAPOR DE CALENTAMIENTO: 275 psig

Diámetro nominal, in	Inversión inicial, \$	Costo de operación, \$	Costo total, \$
8	11388570	13245974	21634544
10	12241976	6784923	19026899
12	14724154	6061718	20785872
14	15707530	5433219	21140749
16	21354816	4976911	26331727

TABLA VII-3

TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTOLEO: 250°F  
 PRESION DE VAPOR DE CALENTAMIENTO: 50 psig

Diámetro nominal, in	Inversión inicial, \$	Costo de operación, \$	Costo total, \$
8	10758078	7801312	18559390
10	11828192	5330362	17158554
12	13204514	4796568	18001082
14	15187606	4374699	19562305
16	20448066	4133631	24581697

TABLA VII-4

TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTOLEO: 250°F  
 PRESION DE VAPOR DE CALENTAMIENTO: 275 psig

Diámetro nominal, in	Inversión inicial, \$	Costo de operación, \$	Costo total, \$
8	10569068	8986106	19555174
10	11639182	6515156	18154338
12	13015504	5981362	18996866
14	14998596	5559493	20558089
16	20259056	5318425	25577481

TABLA VII-5

TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTOLEO: 285°F  
 PRESION DE VAPOR DE CALENTAMIENTO: 275 psig

Diámetro nominal, in	Inversión inicial, \$	Costo de operación, \$	Costo total, \$
8	10054608	9185758	19240366
10	10405440	7016234	17421674
12	12278484	6654632	18933116
14	13431060	6465221	19896281
16	18965520	6404954	25370474

2.- COMPROBACION DEL ESPESOR DE LA TUBERIA PARA LOS -  
DIAS MAS FRIOS DEL AÑO.

Con objeto de comprobar que el espesor de la -  
tuberia es capaz de soportar el aumento de presión en  
los días mas frios del año. La prueba se hace para la  
alternativa de la tabla VII-3, para el diámetro de 10",  
que es la más económica. En caso de que no sea suficien-  
te el espesor, es necesario aumentar la temperatura -  
inicial del combustóleo.

Para conocer cual es la temperatura a la que -  
es necesario calentar el combustóleo en los días mas  
frios del año, se volvió a utilizar el programa des-  
crito en el cap. 4 de esta tesis, obteniendose los -  
resultados descritos en la tabla VII-6

TABLA VII-6

DIAMETRO INTERNO: 10.192"  
ESPESOR TUBERIA: 0.279"  
TEMPERATURA AMBIENTE: 36°F

Temperatura inicial del combustóleo, °F	Caída de presión total, psi	Presión de descarga, psig	Presión de diseño, psig	Espesor mínimo re- querido, in
250	1073	1883	2259	0.427
260	884	1609	1931	0.347
270	734	1391	1669	0.332
280	617	1221	1465	0.300
<u>290</u>	<u>523</u>	<u>1084</u>	<u>1301</u>	<u>0.273</u>

(Listado en la página 16A0)

Tabla VII-6 (Continuación)

300	445	974	1169	0.252
305	416	930	1116	0.244
310	389	889	1067	0.236
315	362	851	1022	0.229
320	340	819	983	0.223

Solo se muestra el listado para una temperatura inicial del combustóleo de 290°F

### 3.- EVALUACION ECONOMICA FINAL.

En las tablas VII-1 a VII-5 se ve que la alternativa más económica es emplear una línea de 10", con un espesor de 0.279, calentando el combustóleo a 250°F con vapor de 50 psig. Como se ve en el punto anterior esta alternativa debe ser desechada, pues no es posible calentar a 290°F con vapor de 50 psig. Podría emplearse vapor de 275 psig, pero como se ve en la tabla VII-5, es más económica la alternativa de calentar a 285°F el combustóleo empleando vapor de 275 psig, temiéndose como consecuencia la necesidad de encontrar el punto más económico para la alternativa del empleo de vapor de 275 psig. La primera prueba que se hace es calentar el combustóleo a 300°F. El método y las ecuaciones empleadas son los mismos que los descritos en los capítulos 4, 5, 6 y 7 de esta tesis.

#### a) Primera prueba:

Del programa se obtuvo el siguiente resultado. (Adjunto se encuentra el listado, en la página 17A).

Diámetro nominal: 10.344 in

Espesor mínimo requerido: 0.203

Presión total de descarga: 676 psig.

Potencia requerida por la bomba:

$$\text{bhp} = \frac{584 \times 676}{1714 \times 0.74} = 311$$

--- Costo de bombeo:  $311 \times 8609.58 = 2679779$

--- Costo de tubería:  $250.120 \times 36000 = 9004320$

--- Cálculo del costo de vapor de calentamiento:

$$\text{Temperatura media: } \frac{300 \times 190}{2} = 245^{\circ}\text{F}$$

Capacidad calorífica:  $0.0005 \times 245 \times 0.373 = 0.496$

$$\text{Vapor consumido: } \frac{273878 \times 0.496 \times (300 - 190)}{812.4} = 18393 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

Costo de vapor:  $8.35 \text{ ton} \times 573972 = 4793007$

--- Costo del equipo de bombeo:

Costo de las bombas: 136000

Costo de motores: 145358

Costo total: 562716 (incluye una bomba de reserva)

--- Costo de los cambiadores:

$$Q = 264772 \times 0.48 \times (300 - 190) = 14122521$$

$$\text{LMTD } \frac{(415 - 300) - (415 - 190)}{\ln \frac{415 - 300}{415 - 190}} = 163.89$$

$$\ln \frac{415 - 300}{415 - 190}$$

$$\text{Area } \frac{14122521}{50 \times 163.89} = 1723 \text{ ft}^2$$

Costo por Área = Ue \$/ft<sup>2</sup>

Costo total: 544408 (incluye un cambiador de reserva)

Costo total:

\$2679779	bombeo
\$4793007	vapor
\$9004320	tubería
\$ 502710	calentadores
<u>\$ 544408</u>	equipo de bombeo
\$17584290	total

Del resultado anterior se concluye que el punto óptimo se encuentra calentando el combustóleo a 285<sup>o</sup>F por ser una alternativa más económica que la anterior.

Solo resta, pues, calcular la temperatura de calentamiento requerida para los días más fríos del año. Se volvió a correr el programa obteniéndose los siguientes resultados:

TEMPERATURA INICIAL DEL COMBUSTOLEO °F	ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO in
285	0.285
290	0.273
300	0.252
310	0.234
320	0.221
330	0.210

Así pues, es necesario calentar a 330<sup>o</sup>F en los días más fríos del año.

Con objeto de comprobar que el cambiador de reserva proporcionara el área requerida para el calentamiento del combustóleo en los días más fríos del año, se estimó el área requerida para elevar la temperatura a 330<sup>o</sup>F:

$$Q = 267472 \times 0.4 \times (330 - 190) = 17974118 \text{ Btu/hr}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(415-330) - (415-190)}{\ln \frac{(415-330)}{(415-190)}} = 143.81 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\text{Area} = \frac{17974118}{143.81 \times 50} = 2499 \text{ ft}^2$$

Esta área es menor que el área total proporcionada por los dos cambiadores conectados en serie.

#### 4.-RECOMENDACION PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA.

Se recomienda, como el sistema más económico, el empleo de una tubería de 10" con 0.219" de espesor. La bomba debe proporcionar una presión diferencial de 735 psig con 584gpm, construida en acero al carbón. El motor de la bomba deberá ser de 400HP.

Para el calentamiento del combustóleo se debe emplear vapor de 285psig, con una área esticada de 1409 pies cuadrados. La temperatura normal de calentamiento del combustóleo será de 285 F y en invierno será de 335F. Los calentadores serán de acero al carbón.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- American Petroleum Institute: Technical Data Book-  
Petroleum Refinery; fig. 11 A 4.2; usa, 1970
- 2.- American Petroleum Institute: Technical Data Book-  
Petroleum Refinery; procedimiento 6 A 3.2; usa, -  
1970
- 3.- American Petroleum Institute: Technical Data Book-  
Petroleum Refinery; procedimiento 7 E 2.2; usa, -  
1970
- 4.- Harold, Sill and Bell: Petroleum Transportation -  
Handbook; pág. 23; Mc Grow-Hill, usa, 1963
- 5.- Secretaría de Hacienda y Crédito Público: Ley del  
Impuesto Sobre la Renta; Artículo 21, inciso I, -  
párrafo c, punto 4; México, 1975
- 6.- Peter and Timmerhaus: Plant design and economics  
for Chemical Engineers; pág. 168; 2nd Edition; Ja  
pan, 1968
- 7.- Peter and Timmerhaus: Plant design and economics  
for Chemical Engineers; pág. 169; 2nd Edition; Ja  
pan, 1968
- 8.- Peter and Timmerhaus: Plant design and economics  
for Chemical Engineers; pág 171; 2nd Edition; Ja  
pan, 1968
- 9.- Petroleum Engineer Publishing Co.: Oil and Gas Pi  
peling Handbook; pág. 17; Petroleum Engineer Pu  
blishing Co; usa, 1971

- 10.- American Society of Mechanical Engineers: Pressure and Boiler Code, Secc. VIII; pág. 123; usa, 1971
- 11.- Harvey H. , Briller R. , Arnold M.D.: Pipelining - oils below the pour point; The Oil and Gas Journal; August 23, 1971
- 12.- Crane Co: Flow offluids-Technical Paper No. 410; - Pág. 3-2 a Pág. 3-5; Crane Co.; usa, 1969
- 13.- Rase, Howard F.: Piping Design for process plants; pág. 118; John Wiley; usa, 1963
- 14.- Handbook Section; pág. H-23; February, 1960; Pipeline Engineer.
- 15.- Handbook Section; pág; H-20; February, 1960; Pipeline Engineer
- 16.- Ludwig, Ernest: Applied process design for Chemical and petrochemical plants; pág. 48; Gulf Publishing Co.; usa, 1964
- 17.- Petroleum Engineer Publishing Co.: Oil and Gas Pipeline Handbook; pág 207; Petroleum Engineer Publishing Co.; usa, 1971
- 18.- Daugherty and Franzini: Fluids Mechanics with Engineering Applications; pág. 212; 6 th Edition; McGraw-Hill; Japan, 1954
- 19.- Bird, Stewart and Lightfoot: Fenómenos de Transporte; pág. 6-8; Editorial Reverte; España, 1964
- 20.- Lothholz, Klaus: Pressure Drop in Long Viscous-Fluid Pipelines; January 7, 1963; Chemical Engineering.

- 21.- Rase, Howard: Piping Design for process plants; pág. 42; John Wiley; usa, 1963
- 22.- Crane Co.: Flow of fluids-Technical Paper No. - 410; pág. B-9; Crane Co; usa 1969
- 23.- Smith J.M. and Ness H.C. Van: Introduction to - Chemical Engineering Thermodynamics; pág 56; 2nd Edition; Mc Grow-Hill; Japan, 1959
- 24.- Ludwig, Ernest: Applied process design for Chemical and Petrochemical Plants; pág. 113; Gulf Publishing Co; usa, 1964
- 25.- Peters, Max and Timmerhaus, Klauss: Plant design and Economics for Chemical Engineers; pág. 564; 2nd Edition; Mc Grow-Hill; Japan, 1968
- 26.- Peters, Max and Timmerhaus, Klauss: Plant design and Economics for Chemical Engineers; pág 571;- 2nd Edition; Mc Grow-Hill; Japan, 1968
- 27.- Kern, Donald: Process Heat Transfer; pág. 89; Mc Grow-Hill; Japan, 1950



QUIM-0.

TEMP. AMBIENTE: 70.07 TEMP. INICIAL: 230.07 DIAMETRO INTERNO: 7.875 ESPESOR SUPUESTO: 0.375

N.M.	TII	TPROD	TFT	CP	SGR	TISC	VEL	NUMREF	FACFIL	DELTA P
1	230.0	228.1	226.2	0.4870	0.9248	30.56	4.07	7502.6	0.03400	17.539
2	226.2	224.3	222.4	0.4851	0.9260	29.15	4.07	6917.6	0.03469	17.875
3	222.4	220.6	218.7	0.4833	0.9273	28.96	4.06	6375.6	0.03541	18.219
4	218.7	216.9	215.1	0.4815	0.9285	28.04	4.06	5873.8	0.03614	18.573
5	215.1	213.4	211.6	0.4797	0.9296	27.39	4.05	5409.6	0.03689	18.935
6	211.6	209.9	208.2	0.4779	0.9308	26.04	4.05	4980.6	0.03766	19.307
7	208.2	206.5	204.8	0.4762	0.9319	25.01	4.04	4584.4	0.03845	19.687
8	204.8	203.1	201.5	0.4746	0.9330	24.35	4.04	4218.8	0.03926	20.077
9	201.5	199.9	198.2	0.4729	0.9340	23.07	4.03	3881.5	0.04009	20.476
10	198.2	196.6	195.1	0.4713	0.9351	22.21	4.03	3570.7	0.04093	20.884
11	195.1	193.5	192.0	0.4698	0.9361	21.81	4.02	3284.4	0.04179	21.302
12	192.0	190.4	188.9	0.4682	0.9371	21.90	4.02	3020.8	0.04268	21.729
13	188.9	187.4	186.0	0.4667	0.9381	22.53	4.01	2778.3	0.04359	22.174
14	186.0	184.5	183.1	0.4653	0.9391	23.73	4.01	2555.3	0.04452	22.636
15	183.1	181.6	180.2	0.4638	0.9400	24.56	4.01	2350.3	0.04547	23.115
16	180.2	178.8	177.4	0.4624	0.9409	26.06	4.00	2161.9	0.04644	23.619
17	177.4	176.1	174.7	0.4610	0.9418	27.29	4.00	1988.9	0.04743	24.139
18	174.7	173.4	172.1	0.4597	0.9427	28.29	3.99	1830.0	0.04844	24.674
19	172.1	170.8	169.5	0.4584	0.9436	29.14	3.99	1684.2	0.04946	25.224
20	169.5	168.2	166.9	0.4571	0.9444	29.89	3.99	1550.4	0.05049	25.789
21	166.9	165.7	164.5	0.4558	0.9452	30.62	3.98	1427.6	0.05153	26.369
22	164.5	163.2	162.0	0.4546	0.9460	31.37	3.98	1314.9	0.05258	26.964
23	162.0	160.9	159.7	0.4534	0.9468	32.24	3.98	1211.6	0.05364	27.574
24	159.7	158.5	157.4	0.4523	0.9476	33.30	3.97	1116.9	0.05470	28.199
25	157.4	156.2	155.1	0.4511	0.9483	34.62	3.97	1029.9	0.05577	28.839
26	155.1	154.0	152.9	0.4500	0.9491	36.19	3.97	950.3	0.05684	29.494
27	152.9	151.8	150.7	0.4489	0.9498	37.40	3.97	877.2	0.05791	30.164
28	150.7	149.7	148.6	0.4478	0.9505	38.03	3.96	810.1	0.05900	30.849
29	148.6	147.6	146.6	0.4468	0.9511	38.28	3.96	748.6	0.06009	31.549
30	146.6	145.6	144.6	0.4458	0.9518	38.24	3.96	692.2	0.06119	32.264
31	144.6	143.6	142.6	0.4448	0.9525	38.01	3.95	640.5	0.06229	32.994
32	142.6	141.7	140.7	0.4438	0.9531	38.69	3.95	593.0	0.06339	33.739
33	140.7	139.8	138.9	0.4429	0.9537	41.39	3.95	549.3	0.06449	34.499
34	138.9	138.0	137.1	0.4420	0.9543	45.20	3.95	509.3	0.06559	35.274
35	137.1	136.2	135.3	0.4411	0.9549	49.24	3.94	472.5	0.06669	36.064
36	135.3	134.4	133.6	0.4402	0.9555	53.60	3.94	438.7	0.06779	36.869

CAUDA DE PRESION TOTAL: 1103.180 PRESION TOTAL DE DESCARGA: 1926.817

PRESION DE DISEÑO: 2312.131 ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.362 PULG

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0; TEMP. INICIAL: 130.0; DIAMETRO INTERNO: 10.136; ESPESOR SUPUESTO: 0.307

CM	TII	TRON	TFT	CP	SGR	MSC	VEL	NUMFY	FACTOR	DELTA P
1	230.0	227.5	225.1	0.4868	0.9200	70.91	2.46	5762.6	0.03631	5.303
2	225.1	222.7	220.3	0.4843	0.9266	70.32	2.45	5190.3	0.03726	5.434
3	220.3	218.0	215.6	0.4820	0.9251	70.13	2.45	4671.8	0.03827	5.569
4	215.6	213.4	211.1	0.4797	0.9296	70.39	2.45	4202.7	0.03930	5.709
5	211.1	208.9	206.7	0.4775	0.9311	70.14	2.44	3778.7	0.04036	5.854
6	206.7	204.5	202.4	0.4753	0.9325	70.46	2.44	3396.0	0.04145	6.003
7	202.4	200.3	198.2	0.4732	0.9339	70.39	2.43	3051.1	0.04257	6.157
8	198.2	196.2	194.2	0.4711	0.9352	70.00	2.43	2740.5	0.04700	6.788
9	194.2	192.2	190.2	0.4691	0.9366	70.39	2.43	2461.0	0.04700	6.778
10	190.2	188.3	186.4	0.4671	0.9378	70.51	2.42	2209.8	0.04700	6.769
11	186.4	184.5	182.6	0.4652	0.9391	70.78	2.42	1984.3	0.03225	4.639
12	182.6	180.8	179.0	0.4634	0.9403	70.37	2.42	1781.9	0.03592	5.159
13	179.0	177.2	175.5	0.4616	0.9415	111.31	2.41	1600.4	0.03999	5.737
14	175.5	173.7	172.0	0.4599	0.9426	123.90	2.41	1437.8	0.04451	6.375
15	172.0	170.4	168.7	0.4582	0.9437	137.57	2.41	1292.1	0.04953	7.062
16	168.7	167.1	165.5	0.4565	0.9448	153.35	2.41	1161.7	0.05509	7.876
17	165.5	163.9	162.3	0.4550	0.9458	170.49	2.40	1044.9	0.06125	8.747
18	162.3	160.8	159.3	0.4534	0.9468	189.43	2.40	940.4	0.06805	9.714
19	159.3	157.8	156.4	0.4519	0.9478	210.33	2.40	846.9	0.07557	10.788
20	156.4	154.9	153.5	0.4505	0.9488	233.38	2.40	763.3	0.08384	11.936
21	153.5	152.1	150.7	0.4491	0.9497	258.74	2.39	688.3	0.09296	13.220
22	150.7	149.4	148.0	0.4477	0.9506	287.50	2.39	621.6	0.10207	14.631
23	148.0	146.7	145.4	0.4464	0.9514	317.17	2.39	561.7	0.11130	16.178
24	145.4	144.1	142.9	0.4451	0.9523	350.55	2.39	508.0	0.12097	17.868
25	142.9	141.7	140.4	0.4438	0.9531	387.24	2.39	460.0	0.13112	19.710
26	140.4	139.2	138.1	0.4426	0.9539	427.17	2.38	417.0	0.14147	21.730
27	138.1	136.9	135.7	0.4414	0.9547	470.56	2.38	378.5	0.15209	23.924
28	135.7	134.6	133.5	0.4403	0.9554	517.94	2.38	343.9	0.16308	26.306
29	133.5	132.4	131.4	0.4392	0.9561	569.24	2.38	312.9	0.20451	28.890
30	131.4	130.3	129.3	0.4382	0.9568	624.79	2.38	285.1	0.22446	31.686
31	129.3	128.3	127.2	0.4371	0.9575	684.82	2.37	260.1	0.24603	34.706
32	127.2	126.3	125.3	0.4361	0.9581	749.57	2.37	237.7	0.26929	37.962
33	125.3	124.3	123.4	0.4352	0.9588	819.25	2.37	217.4	0.29433	41.464
34	123.4	122.5	121.5	0.4344	0.9594	894.10	2.37	199.2	0.32122	45.223
35	121.5	120.7	119.8	0.4333	0.9600	974.32	2.37	182.8	0.35004	49.250
36	119.8	118.9	118.1	0.4325	0.9605	1070.13	2.37	168.0	0.38087	53.556

CALAJA DE PRESION TOTAL: 514.711; PRESION TOTAL DE DESCARGA: 1217.561

PRESION DE DISEÑO: 1461.07; ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.299; PULG

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0; TEMP. INICIAL: 430.0; DIAMETRO INTERNO: 11.376; ESPESOR SUPUESTO: 0.312

KM	TIT	TRDCH	TFT	CP	SQR	TSC	VEL	NHREF	FACTIC	DELTA P
1	230.0	227.2	224.5	0.4856	0.9251	21.11	1.95	5102.4	0.03744	3.069
2	224.5	221.6	219.2	0.4839	0.9269	21.98	1.95	4537.0	0.03655	3.155
3	219.2	216.6	214.0	0.4813	0.9286	22.38	1.94	4031.0	0.03971	3.243
4	214.0	211.5	208.9	0.4787	0.9303	22.35	1.94	3578.9	0.04091	3.335
5	208.9	206.5	204.1	0.4763	0.9319	22.98	1.94	3175.6	0.04215	3.431
6	204.1	201.7	199.3	0.4738	0.9334	23.36	1.93	2816.4	0.04700	3.519
7	199.3	197.0	194.7	0.4715	0.9350	23.57	1.93	2496.7	0.04700	3.513
8	194.7	192.5	190.3	0.4693	0.9364	24.72	1.93	2213.1	0.04700	3.507
9	190.3	188.1	186.0	0.4671	0.9379	24.93	1.92	1961.3	0.03263	2.639
10	186.0	183.9	181.8	0.4649	0.9393	25.32	1.92	1738.1	0.03682	2.973
11	181.8	179.8	177.8	0.4629	0.9406	25.03	1.92	1540.6	0.04154	3.350
12	177.8	175.8	173.9	0.4609	0.9419	24.22	1.92	1365.7	0.04686	3.773
13	173.9	172.0	170.1	0.4590	0.9432	24.05	1.91	1211.2	0.05284	4.249
14	170.1	168.2	166.4	0.4571	0.9444	24.70	1.91	1074.7	0.05955	4.783
15	166.4	164.6	162.9	0.4553	0.9456	24.37	1.91	954.1	0.06708	5.341
16	162.9	161.2	159.4	0.4536	0.9467	24.27	1.91	847.6	0.07551	5.949
17	159.4	157.6	156.1	0.4519	0.9478	24.62	1.90	753.6	0.08492	6.746
18	156.1	154.5	152.9	0.4503	0.9489	24.66	1.90	670.7	0.09543	7.628
19	152.9	151.4	149.8	0.4487	0.9499	24.66	1.90	597.5	0.10712	8.553
20	149.8	148.4	146.9	0.4472	0.9509	24.97	1.90	532.9	0.12010	9.580
21	146.9	145.4	144.0	0.4457	0.9519	24.58	1.90	475.5	0.13450	10.717
22	144.0	142.6	141.2	0.4443	0.9528	24.08	1.89	425.4	0.15043	11.975
23	141.2	139.8	138.5	0.4429	0.9537	24.58	1.89	380.9	0.16801	13.362
24	138.5	137.2	135.9	0.4416	0.9546	24.70	1.89	341.6	0.18737	14.888
25	135.9	134.7	133.4	0.4403	0.9554	24.44	1.89	307.7	0.20864	16.564
26	133.4	132.2	131.0	0.4391	0.9562	24.25	1.89	275.9	0.23195	18.398
27	131.0	129.8	128.7	0.4379	0.9570	24.44	1.89	248.5	0.25743	20.433
28	128.7	127.5	126.4	0.4368	0.9577	24.34	1.88	224.4	0.28524	22.567
29	126.4	125.3	124.2	0.4357	0.9584	24.29	1.88	202.9	0.31543	24.902
30	124.2	123.2	122.2	0.4346	0.9591	24.58	1.88	183.6	0.34821	27.536
31	122.2	121.2	120.1	0.4336	0.9598	24.54	1.88	166.5	0.38366	30.319
32	120.1	119.2	118.2	0.4326	0.9605	24.46	1.88	151.7	0.42195	33.321
33	118.2	117.3	116.3	0.4316	0.9611	24.62	1.88	138.2	0.46314	36.556
34	116.3	115.4	114.5	0.4307	0.9617	24.28	1.88	126.1	0.50735	40.015
35	114.5	113.7	112.8	0.4298	0.9623	24.67	1.88	115.4	0.55469	43.721
36	112.8	112.0	111.1	0.4290	0.9628	24.00	1.87	105.7	0.60522	47.677

CAIDA DE PRESION TOTAL: 306.420; PRESION TOTAL DE DESCARGA: 1060.322

PRESION DE DISEÑO: 1272.336; ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.293; D.L.G.

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0; TEMP. INICIAL: 230.0; DIAMETRO INTERNO: 13.376; ESPESOR SUPUESTO: 0.312

KM	TIT	TFRDM	TFT	CP	SGR	TJSC	VEL	NUMPEY	FACFIL	DELTA P
1	230.0	226.8	223.6	0.4864	0.9252	71.42	1.41	4295.9	0.03908	1.426
2	223.6	220.4	217.3	0.4832	0.9273	76.08	1.41	3741.4	0.04046	1.472
3	217.3	214.3	211.3	0.4802	0.9293	81.47	1.40	3255.0	0.04189	1.521
4	211.3	208.4	205.5	0.4772	0.9312	87.71	1.40	2829.2	0.04700	1.703
5	205.5	202.7	199.9	0.4744	0.9331	94.93	1.40	2457.3	0.04700	1.700
6	199.9	197.2	194.5	0.4716	0.9349	103.28	1.40	2133.2	0.04700	1.697
7	194.5	191.9	189.3	0.4690	0.9366	112.92	1.39	1851.1	0.03457	1.246
8	189.3	186.8	184.3	0.4664	0.9383	124.05	1.39	1606.1	0.03985	1.433
9	184.3	181.9	179.5	0.4639	0.9399	136.86	1.39	1393.6	0.04592	1.649
10	179.5	177.1	174.8	0.4616	0.9415	151.61	1.39	1209.5	0.05291	1.897
11	174.8	172.6	170.3	0.4593	0.9430	168.54	1.38	1050.2	0.06094	2.181
12	170.3	168.2	166.0	0.4571	0.9444	187.95	1.38	912.4	0.07014	2.507
13	166.0	164.0	161.9	0.4550	0.9458	210.16	1.38	793.3	0.08067	2.879
14	161.9	159.9	157.9	0.4530	0.9471	235.50	1.38	690.5	0.09269	3.303
15	157.9	156.0	154.1	0.4510	0.9484	274.35	1.38	601.7	0.10636	3.785
16	154.1	152.3	150.4	0.4491	0.9496	327.11	1.37	525.0	0.12189	4.332
17	150.4	148.7	146.9	0.4473	0.9508	394.21	1.37	458.8	0.13948	4.951
18	146.9	145.2	143.5	0.4456	0.9519	476.10	1.37	401.6	0.15935	5.649
19	143.5	141.9	140.3	0.4440	0.9530	573.26	1.37	352.2	0.18171	6.435
20	140.3	138.7	137.2	0.4424	0.9541	696.19	1.37	309.5	0.20680	7.315
21	137.2	135.7	134.2	0.4406	0.9550	845.40	1.37	272.5	0.23487	8.300
22	134.2	132.8	131.3	0.4394	0.9560	1021.42	1.37	240.4	0.26617	9.396
23	131.3	130.0	129.6	0.4380	0.9569	1224.78	1.36	212.7	0.30095	10.614
24	128.6	127.3	126.0	0.4366	0.9578	1456.00	1.36	188.5	0.33946	11.961
25	126.0	124.7	123.4	0.4353	0.9586	1725.63	1.36	167.6	0.38195	13.446
26	123.4	122.2	121.0	0.4341	0.9595	2034.16	1.36	149.3	0.42867	15.078
27	121.0	119.9	118.7	0.4329	0.9602	2482.10	1.36	133.4	0.47984	16.864
28	118.7	117.6	116.5	0.4318	0.9610	3080.91	1.36	119.5	0.53569	18.813
29	116.5	115.4	114.4	0.4307	0.9617	3840.01	1.36	107.3	0.59643	20.931
30	114.4	113.4	112.4	0.4297	0.9623	4770.81	1.36	96.6	0.66223	23.223
31	112.4	111.4	110.4	0.4287	0.9630	5986.63	1.36	87.3	0.73326	25.697
32	110.4	109.5	108.6	0.4278	0.9636	7497.75	1.35	79.0	0.80965	28.356
33	108.6	107.7	106.8	0.4268	0.9642	9320.41	1.35	71.8	0.89150	31.203
34	106.8	106.0	105.1	0.4260	0.9648	11470.74	1.35	65.4	0.97890	34.242
35	105.1	104.3	103.5	0.4252	0.9653	14064.84	1.35	59.7	1.07187	37.473
36	103.5	102.7	101.9	0.4244	0.9658	17218.70	1.35	54.7	1.17042	40.897

CALDA LE PRESIUN TOTAL: 405.573; PRESIUN TOTAL DE DESCARGA: 913.092

PRESIUN DE DISENO: 1096.671; ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.294 PULG

LE ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0; TEMP. INICIAL: 230.0; DIAMETRO INTERNO: 15.376; ESPESOR SUPUESTO: 0.312

RM	TTF	TRDM	TFT	CM	SGR	TSC	VEL	NUMREY	FACIC	DELTA P
1	230.0	226.3	222.6	0.4862	0.9254	71.74	1.07	3690.7	0.04057	0.737
2	222.6	219.1	215.5	0.4825	0.9278	77.21	1.06	3155.9	0.04221	0.765
3	215.5	212.1	208.7	0.4790	0.9300	83.68	1.06	2688.4	0.04700	0.850
4	208.7	205.4	202.1	0.4757	0.9322	91.34	1.06	2287.5	0.04700	0.848
5	202.1	199.0	195.9	0.4725	0.9343	99.38	1.06	1944.8	0.03291	0.592
6	195.9	192.9	189.8	0.4694	0.9363	11.06	1.06	1657.5	0.03873	0.695
7	189.8	187.0	184.1	0.4665	0.9383	23.65	1.05	1403.8	0.04559	0.817
8	184.1	181.3	178.6	0.4637	0.9401	38.47	1.05	1192.6	0.05367	0.960
9	178.6	175.9	173.3	0.4610	0.9419	55.87	1.05	1013.5	0.06315	1.127
10	173.3	170.7	168.2	0.4584	0.9436	75.26	1.05	861.8	0.07426	1.323
11	168.2	165.8	163.4	0.4559	0.9452	96.09	1.05	733.5	0.08725	1.552
12	163.4	161.1	158.8	0.4535	0.9467	117.87	1.04	625.1	0.10238	1.818
13	158.8	156.5	154.3	0.4513	0.9482	141.13	1.04	533.5	0.11997	2.127
14	154.3	152.2	150.1	0.4491	0.9496	165.48	1.04	456.1	0.14032	2.485
15	150.1	148.1	146.1	0.4471	0.9510	191.57	1.04	390.7	0.16381	2.896
16	146.1	144.2	142.3	0.4451	0.9523	219.09	1.04	335.4	0.19079	3.369
17	142.3	140.4	138.6	0.4432	0.9535	247.77	1.04	288.7	0.22168	3.909
18	138.6	136.9	135.1	0.4414	0.9547	277.37	1.03	249.1	0.25689	4.524
19	135.1	133.5	131.8	0.4397	0.9558	307.70	1.03	215.6	0.29685	5.222
20	131.8	130.2	128.6	0.4381	0.9568	338.54	1.03	187.1	0.34200	6.010
21	128.6	127.1	125.6	0.4366	0.9579	370.72	1.03	162.9	0.39278	6.895
22	125.6	124.2	122.7	0.4351	0.9588	405.02	1.03	142.3	0.44963	7.885
23	122.7	121.4	120.0	0.4337	0.9597	441.23	1.03	124.8	0.51296	8.987
24	120.0	118.7	117.4	0.4324	0.9606	479.08	1.03	109.7	0.58318	10.208
25	117.4	116.2	115.0	0.4311	0.9614	518.26	1.03	96.9	0.66067	11.554
26	115.0	113.8	112.6	0.4299	0.9622	558.38	1.03	85.8	0.74576	13.031
27	112.6	111.5	110.4	0.4287	0.9630	599.99	1.03	76.3	0.83873	14.645
28	110.4	109.3	108.3	0.4277	0.9637	642.51	1.03	68.1	0.93984	16.398
29	108.3	107.3	106.2	0.4266	0.9644	686.28	1.02	61.0	1.04926	18.294
30	106.2	105.3	104.3	0.4256	0.9650	731.52	1.02	54.8	1.16711	20.335
31	104.3	103.4	102.5	0.4247	0.9656	777.31	1.02	49.5	1.29343	22.522
32	102.5	101.7	100.8	0.4238	0.9662	824.61	1.02	44.8	1.42821	24.854
33	100.8	100.0	99.2	0.4230	0.9667	873.25	1.02	40.7	1.57134	27.329
34	99.2	98.4	97.6	0.4222	0.9673	923.91	1.02	37.2	1.72267	29.945
35	97.6	96.9	96.1	0.4214	0.9677	976.16	1.02	34.0	1.88194	32.697
36	96.1	95.4	94.8	0.4207	0.9682	1030.42	1.02	31.2	2.04885	35.580

CALCULO DE PRESION TOTAL: 343.786; PRESION TOTAL DE DESCARGA: 824.177

PRESION DE DISEÑO: 989.012; ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.301; PULO

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 73.0; TEMP. INICIAL: 250.0; J TAMEN: INTERNO: 8.00; PESOSR SUPUESTO: 0.312

RM	TIT	IPROH	TFT	CP	SK	ISC	VEL	NUMREY	FACTIC	DELIA P
1	250.0	247.9	245.7	0.4969	0.9183	70.65	3.97	10927.1	0.03095	14.851
2	245.7	243.6	241.5	0.4948	0.9197	72.37	3.97	10087.5	0.03157	15.128
3	241.5	239.4	237.4	0.4927	0.9211	74.25	3.96	9306.9	0.03221	15.413
4	237.4	235.4	233.3	0.4907	0.9224	76.30	3.96	8582.0	0.03287	15.706
5	233.3	231.4	229.4	0.4887	0.9237	78.53	3.95	7909.4	0.03355	16.007
6	229.4	227.5	225.5	0.4867	0.9250	80.97	3.94	7286.0	0.03425	16.316
7	225.5	223.6	221.7	0.4848	0.9263	83.64	3.94	6708.6	0.03496	16.634
8	221.7	219.9	218.0	0.4829	0.9275	86.55	3.93	6174.4	0.03569	16.960
9	218.0	216.2	214.4	0.4811	0.9287	89.73	3.93	5680.6	0.03644	17.295
10	214.4	212.6	210.8	0.4793	0.9299	93.20	3.92	5224.5	0.03722	17.638
11	210.8	209.0	207.3	0.4775	0.9310	96.98	3.92	4803.5	0.03801	17.990
12	207.3	205.6	203.9	0.4758	0.9322	101.11	3.91	4415.3	0.03881	18.351
13	203.9	202.2	200.5	0.4741	0.9333	105.62	3.91	4057.5	0.03964	18.721
14	200.5	198.9	197.3	0.4725	0.9344	110.54	3.90	3728.0	0.04049	19.099
15	197.3	195.7	194.1	0.4708	0.9354	115.90	3.90	3424.3	0.04136	19.487
16	194.1	192.5	191.9	0.4693	0.9365	121.74	3.90	3145.9	0.04225	19.883
17	190.9	189.4	187.9	0.4677	0.9375	128.10	3.89	2889.5	0.04300	22.095
18	187.9	186.4	184.9	0.4662	0.9385	135.03	3.89	2654.0	0.04370	22.072
19	184.9	183.4	182.0	0.4647	0.9394	142.58	3.88	2437.7	0.04470	22.049
20	182.0	180.5	179.1	0.4633	0.9404	150.79	3.88	2239.2	0.04470	22.027
21	179.1	177.7	176.3	0.4619	0.9413	159.71	3.89	2057.1	0.04700	22.006
22	176.3	174.9	173.6	0.4605	0.9422	169.40	3.87	1890.0	0.03380	15.939
23	173.6	172.2	171.9	0.4591	0.9431	179.93	3.87	1736.9	0.03685	17.219
24	170.9	169.6	168.3	0.4578	0.9439	191.35	3.86	1596.6	0.04009	18.376
25	168.3	167.0	165.7	0.4565	0.9448	193.74	3.86	1467.9	0.04360	20.337
26	165.7	164.5	163.3	0.4553	0.9456	197.16	3.86	1350.1	0.04740	22.093
27	163.3	162.0	160.8	0.4541	0.9464	201.68	3.85	1242.2	0.05152	23.993
28	160.8	159.6	158.5	0.4528	0.9472	207.39	3.85	1143.3	0.05598	26.046
29	158.5	157.3	155.1	0.4516	0.9480	214.37	3.85	1052.7	0.06079	28.263
30	156.1	155.0	153.9	0.4505	0.9487	222.70	3.85	969.3	0.06599	30.656
31	153.9	152.8	151.7	0.4494	0.9495	232.47	3.84	893.9	0.07160	33.235
32	151.7	150.6	149.5	0.4483	0.9502	243.78	3.84	824.3	0.07764	36.012
33	149.5	148.5	147.4	0.4472	0.9509	256.71	3.84	760.6	0.08414	39.000
34	147.4	146.4	145.3	0.4462	0.9515	271.37	3.83	702.2	0.09114	42.211
35	145.3	144.3	143.3	0.4452	0.9522	287.86	3.83	648.3	0.09865	45.659
36	143.3	142.4	141.4	0.4442	0.9529	306.28	3.83	599.8	0.10671	49.356

CAIDA DE PRESION TOTAL: 334.364; PRESION TOTAL DE DESCARGA: 1536.497  
 PRESION DE DISEÑO: 1843.796; PESOSR MINIMO PERIODO: 0.302; PULG  
 PESOSR SUPUESTO ES CORRECTO

101

TEMP. AMBIENTE: 79.0 TEMP. INICIAL: 250.0 DIAMETRO INTERNO: 10.192 PESOS SUPUESTO: 3.279

PN	T11	T10M	TFT	CM	SGR	MISC	VEL	NUMREY	FACILC	DELTA P
1	250.0	247.3	244.6	0.4966	0.9135	20.88	2.45	8486.3	0.03297	4.716
2	244.6	241.9	239.2	0.4940	0.9203	23.12	2.44	7663.3	0.03382	4.828
3	239.2	236.7	234.1	0.4913	0.9270	25.62	2.44	6914.0	0.03470	4.945
4	234.1	231.5	229.0	0.4888	0.9237	28.43	2.43	6230.4	0.03561	5.066
5	229.0	226.6	224.1	0.4863	0.9203	31.56	2.43	5613.3	0.03653	5.191
6	224.1	221.7	219.3	0.4839	0.9259	35.06	2.43	5052.3	0.03753	5.320
7	219.3	217.0	214.7	0.4815	0.9284	38.96	2.42	4544.3	0.03854	5.454
8	214.7	212.4	210.1	0.4792	0.9299	43.37	2.42	4085.3	0.03958	5.592
9	210.1	207.9	205.7	0.4770	0.9314	48.27	2.41	3670.6	0.04065	5.735
10	205.7	203.6	201.4	0.4748	0.9328	53.74	2.41	3295.7	0.04176	5.882
11	201.4	199.3	197.3	0.4727	0.9342	59.85	2.41	2959.9	0.04290	6.031
12	197.3	195.2	193.2	0.4706	0.9356	66.68	2.40	2656.3	0.04408	6.181
13	193.2	191.2	189.2	0.4686	0.9369	74.30	2.40	2384.4	0.04529	6.342
14	189.2	187.3	185.4	0.4667	0.9381	82.80	2.40	2139.3	0.04653	6.514
15	185.4	183.5	181.7	0.4648	0.9394	92.26	2.39	1924.3	0.04780	6.697
16	181.7	179.9	179.1	0.4629	0.9406	102.80	2.39	1723.3	0.04911	6.891
17	179.1	176.3	174.5	0.4611	0.9418	114.51	2.39	1547.1	0.05045	7.107
18	174.5	172.8	171.1	0.4594	0.9429	127.53	2.38	1389.2	0.05182	7.340
19	171.1	169.5	167.8	0.4577	0.9440	141.98	2.38	1247.3	0.05321	7.599
20	167.8	166.2	164.6	0.4561	0.9451	157.80	2.38	1121.3	0.05462	7.945
21	164.6	163.0	161.5	0.4545	0.9461	174.73	2.38	1009.2	0.05605	8.316
22	161.5	159.9	158.4	0.4530	0.9471	192.83	2.37	907.0	0.05750	8.719
23	158.4	157.0	155.5	0.4515	0.9481	212.16	2.37	814.6	0.05897	9.152
24	155.5	154.1	152.6	0.4500	0.9490	232.81	2.37	735.7	0.06046	9.615
25	152.6	151.2	149.9	0.4485	0.9500	254.07	2.37	663.4	0.06196	10.109
26	149.9	148.5	147.2	0.4473	0.9508	276.91	2.36	598.7	0.06348	10.634
27	147.2	145.9	144.6	0.4459	0.9517	327.55	2.36	540.9	0.06501	11.191
28	144.6	143.3	142.1	0.4447	0.9525	379.20	2.36	489.1	0.06655	11.780
29	142.1	140.8	139.5	0.4434	0.9534	432.07	2.36	442.3	0.06810	12.391
30	139.5	138.4	137.3	0.4422	0.9541	486.39	2.36	401.4	0.06966	13.034
31	137.3	136.1	135.0	0.4411	0.9549	542.39	2.35	364.2	0.07123	13.717
32	135.0	133.9	132.8	0.4399	0.9556	599.29	2.35	331.0	0.07281	14.439
33	132.8	131.7	130.6	0.4388	0.9564	657.35	2.35	301.1	0.07440	15.191
34	131.7	129.6	128.5	0.4378	0.9571	716.78	2.35	274.3	0.07600	16.074
35	129.6	127.5	126.5	0.4368	0.9577	777.83	2.35	250.3	0.07761	17.001
36	126.5	125.5	124.6	0.4358	0.9584	746.72	2.35	228.7	0.07923	18.071

CAIDA DE PRESION TOTAL: 447.569 PRESION TOTAL DE DESARROLLO: 974.870

PRESION DE DISEÑO: 1169.844 PESOS MINIMO PERMISIDO: 0.252206

EL SUPUESTO SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.00 TEMP. INICIAL: 250.00 DIAMETRO INTERNO: 11.500 ESPESOR SUPUESTO: 0.250

MM	TIT	IPROD	TFT	CP	SGR	WISC	VEL	NUMREF	FACIL	DELTA P
1	250.0	246.9	243.9	0.4965	0.9186	71.01	1.92	7473.0	0.03403	2.661
2	243.9	240.9	237.9	0.4934	0.9206	73.58	1.92	6660.1	0.03502	2.733
3	237.9	235.0	232.1	0.4905	0.9225	76.48	1.91	5922.6	0.03606	2.808
4	232.1	229.3	226.5	0.4877	0.9244	79.78	1.91	5271.6	0.03713	2.886
5	226.5	223.8	221.0	0.4849	0.9262	83.53	1.91	4683.2	0.03825	2.967
6	221.0	218.4	215.7	0.4822	0.9280	87.77	1.90	4156.7	0.03940	3.051
7	215.7	213.2	210.6	0.4796	0.9297	92.59	1.90	3686.6	0.04061	3.138
8	210.6	208.1	205.6	0.4771	0.9313	98.05	1.90	3267.5	0.04185	3.228
9	205.6	203.2	200.8	0.4746	0.9330	104.24	1.89	2894.6	0.04300	3.619
10	200.8	198.4	196.1	0.4722	0.9345	112.26	1.89	2563.1	0.04400	3.613
11	196.1	193.8	191.6	0.4699	0.9360	120.20	1.89	2269.0	0.04700	3.608
12	191.6	189.4	187.2	0.4677	0.9375	128.19	1.88	2008.2	0.04700	3.602
13	187.2	185.0	182.9	0.4655	0.9389	136.34	1.88	1777.4	0.03601	2.755
14	182.9	180.9	178.8	0.4634	0.9403	144.81	1.88	1573.2	0.04068	3.108
15	178.8	176.8	174.8	0.4614	0.9416	153.74	1.88	1392.7	0.04595	3.506
16	174.8	172.9	171.0	0.4594	0.9429	163.30	1.87	1233.4	0.05189	3.954
17	171.0	169.1	167.2	0.4575	0.9441	173.68	1.87	1092.8	0.05857	4.457
18	167.2	165.4	163.6	0.4557	0.9453	184.97	1.87	968.8	0.06606	5.021
19	163.6	161.9	160.1	0.4539	0.9465	197.70	1.87	859.4	0.07447	5.653
20	160.1	158.4	156.8	0.4522	0.9476	211.78	1.86	763.0	0.08388	6.359
21	156.8	155.1	153.5	0.4506	0.9487	227.56	1.86	678.1	0.09439	7.148
22	153.5	151.9	150.4	0.4490	0.9497	244.91	1.86	603.2	0.10610	8.026
23	150.4	148.8	147.3	0.4474	0.9507	272.29	1.86	537.2	0.11914	9.003
24	147.3	145.9	144.4	0.4459	0.9517	307.80	1.86	479.0	0.13362	10.087
25	144.4	143.0	141.6	0.4445	0.9527	347.15	1.85	427.7	0.14965	11.286
26	141.6	140.2	138.8	0.4431	0.9536	390.63	1.85	382.4	0.16730	12.611
27	138.8	137.5	136.2	0.4418	0.9544	438.58	1.85	342.4	0.18692	14.070
28	136.2	134.9	133.7	0.4405	0.9553	491.33	1.85	307.1	0.20842	15.675
29	133.7	132.4	131.2	0.4392	0.9561	549.20	1.85	275.6	0.23201	17.434
30	131.2	130.0	128.9	0.4380	0.9569	612.55	1.85	248.2	0.25783	19.358
31	128.9	127.7	126.6	0.4369	0.9577	681.71	1.84	223.8	0.28602	21.458
32	126.6	125.5	124.4	0.4357	0.9584	757.00	1.84	202.1	0.31671	23.742
33	124.4	123.3	122.3	0.4347	0.9591	838.78	1.84	182.8	0.35005	26.221
34	122.3	121.2	120.2	0.4336	0.9598	927.34	1.84	165.7	0.38614	28.905
35	120.2	119.2	118.3	0.4326	0.9604	1023.00	1.84	150.5	0.42514	31.802
36	118.3	117.3	116.4	0.4317	0.9611	1126.05	1.84	137.0	0.46714	34.921

CAIDA DE PRESION TOTAL: 364.474 PRESION TOTAL DE DESCARGA: 854.217

PRESION JE DISENO: 1025.000 ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.248 PULG

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0 TEMP. INICIAL: 250.0 DIAMETRO INTERNO: 13.438 ESPESOR SUPUESTO: 0.261

Nº	TII	IPROM	TFT	CP	SGR	WTSC	VFL	NUMREY	FACTIC	DELTA P
1	250.0	246.4	242.9	0.44962	0.91198	71.21	1.41	6335.0	0.03547	1.273
2	247.9	239.4	235.9	0.44927	0.92111	74.27	1.40	5536.4	0.03668	1.313
3	235.9	232.6	229.3	0.44893	0.92333	77.81	1.40	4830.9	0.03795	1.355
4	229.3	226.0	222.8	0.44860	0.92555	81.92	1.40	4209.4	0.03928	1.400
5	222.8	219.7	216.6	0.44828	0.92766	86.68	1.39	3663.3	0.04067	1.446
6	216.6	213.6	210.6	0.44798	0.92966	92.19	1.39	3184.6	0.04212	1.494
7	210.6	207.7	204.8	0.44768	0.93155	98.58	1.39	2765.9	0.04370	1.664
8	204.8	202.6	199.2	0.44740	0.93334	105.97	1.39	2400.6	0.04700	1.661
9	199.2	196.5	193.8	0.44712	0.93522	114.52	1.38	2082.4	0.04700	1.657
10	193.8	191.2	188.6	0.44686	0.93699	124.41	1.38	1805.9	0.03544	1.247
11	188.6	186.1	183.6	0.44660	0.93866	135.81	1.38	1565.8	0.04087	1.436
12	183.6	181.1	178.7	0.44636	0.94022	148.96	1.38	1357.8	0.04714	1.653
13	178.7	176.4	174.1	0.44612	0.94177	164.10	1.37	1177.7	0.05434	1.903
14	174.1	171.9	169.6	0.44589	0.94322	181.46	1.37	1022.0	0.06262	2.189
15	169.6	167.5	165.3	0.44567	0.94466	191.42	1.37	887.4	0.07212	2.518
16	165.3	163.3	161.2	0.44546	0.94600	174.22	1.37	771.2	0.08298	2.893
17	161.2	159.2	157.2	0.44526	0.94733	200.26	1.37	671.0	0.09538	3.320
18	157.2	155.3	153.4	0.44507	0.94866	229.93	1.36	584.4	0.10950	3.807
19	153.4	151.6	149.8	0.44488	0.94998	253.58	1.36	509.8	0.12554	4.359
20	149.8	148.0	146.3	0.44470	0.95110	301.71	1.36	445.4	0.14370	4.883
21	146.3	144.6	142.9	0.44453	0.95211	314.77	1.36	389.7	0.16421	5.687
22	142.9	141.3	139.7	0.44436	0.95312	333.24	1.36	341.7	0.18730	6.480
23	139.7	138.1	136.6	0.44421	0.95413	417.63	1.36	300.2	0.21321	7.368
24	136.6	135.1	133.8	0.44405	0.95513	528.47	1.35	264.3	0.24218	8.361
25	133.8	132.2	130.7	0.44391	0.95612	576.29	1.35	233.2	0.27449	9.466
26	130.7	129.4	128.0	0.44377	0.95711	651.63	1.35	206.2	0.31037	10.694
27	128.0	126.7	125.4	0.44363	0.95800	755.03	1.35	182.8	0.35009	12.051
28	125.4	124.1	122.9	0.44351	0.95889	877.02	1.35	162.5	0.39391	13.548
29	122.9	121.7	120.5	0.44338	0.95976	978.11	1.35	144.8	0.44206	15.191
30	120.5	119.3	118.2	0.44327	0.96064	1038.81	1.35	129.3	0.49479	16.989
31	118.2	117.1	116.0	0.44315	0.96111	1159.58	1.35	115.9	0.55231	18.950
32	116.0	114.9	113.9	0.44305	0.96188	1290.83	1.34	104.1	0.61482	21.079
33	113.9	112.9	111.9	0.44294	0.96255	1432.97	1.34	93.8	0.68252	23.364
34	111.9	110.9	109.9	0.44285	0.96322	1576.30	1.34	84.7	0.75555	25.869
35	109.9	109.0	108.1	0.44275	0.96388	1731.11	1.34	76.7	0.83405	28.538
36	108.1	107.2	106.4	0.44266	0.96444	1977.60	1.34	69.7	0.91812	31.395

CAUDA DE PRESION TOTAL: 298.621 PRESION TOTAL DE DESCARGA: 758.598

PRESION DE DISEÑO: 910.318 ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.255 PULG

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0 / TEMP. INICIAL: 250.0 / DIAMETRO INTERNO: 15.438 / ESPESOR SUPUESTO: 0.281

KM	TIT	TPRDH	TFT	CM	SGR	VISC	VEL	NUMRFY	FACTG	DELTA P
1	250.0	245.9	241.8	0.4960	0.9190	71.42	1.07	5460.8	0.03681	0.660
2	241.6	237.9	233.9	0.4919	0.9216	75.01	1.06	4676.8	0.03826	0.684
3	233.9	230.2	226.4	0.4881	0.9241	79.26	1.06	3997.2	0.03979	0.710
4	226.4	222.7	219.1	0.4844	0.9266	84.30	1.06	3410.3	0.04140	0.736
5	219.1	215.6	212.1	0.4808	0.9289	90.26	1.05	2905.2	0.04300	0.834
6	212.1	208.7	205.4	0.4774	0.9311	97.32	1.05	2471.7	0.04470	0.832
7	205.4	202.2	199.0	0.4741	0.9333	105.07	1.05	2100.8	0.04700	0.830
8	199.0	195.9	192.8	0.4709	0.9354	115.55	1.05	1784.3	0.03587	0.632
9	192.8	189.0	186.9	0.4679	0.9373	127.21	1.05	1514.9	0.04225	0.743
10	186.9	184.0	181.2	0.4650	0.9392	140.95	1.04	1286.1	0.04976	0.673
11	181.2	178.5	175.6	0.4622	0.9410	157.11	1.04	1092.0	0.05861	1.026
12	175.8	173.2	170.6	0.4596	0.9428	176.08	1.04	927.7	0.06899	1.206
13	170.6	168.1	165.6	0.4571	0.9444	198.30	1.04	788.7	0.08115	1.416
14	165.6	163.3	160.9	0.4546	0.9460	224.24	1.04	671.3	0.09534	1.661
15	160.9	158.6	156.4	0.4523	0.9475	254.45	1.03	572.1	0.11187	1.946
16	156.4	154.2	152.0	0.4501	0.9490	290.49	1.03	488.4	0.13105	2.276
17	152.0	150.0	147.9	0.4480	0.9504	333.01	1.03	417.7	0.15322	2.657
18	147.9	146.0	144.0	0.4460	0.9517	376.69	1.03	358.0	0.17876	3.095
19	144.0	142.1	140.2	0.4441	0.9529	427.24	1.03	307.6	0.20806	3.598
20	140.2	138.4	136.7	0.4422	0.9541	481.43	1.03	265.0	0.24155	4.172
21	136.7	134.9	133.2	0.4405	0.9553	531.05	1.03	228.9	0.27964	4.824
22	133.2	131.6	130.0	0.4388	0.9564	590.91	1.02	198.3	0.32279	5.562
23	130.0	128.5	126.9	0.4372	0.9574	658.83	1.02	172.3	0.37145	6.393
24	126.9	125.4	124.0	0.4357	0.9584	737.61	1.02	150.2	0.42605	7.325
25	124.0	122.6	121.2	0.4343	0.9593	829.06	1.02	131.4	0.48703	8.366
26	121.2	119.6	118.5	0.4329	0.9602	933.94	1.02	115.4	0.55482	9.521
27	118.5	117.2	116.0	0.4316	0.9611	1050.98	1.02	101.6	0.62980	10.799
28	116.0	114.8	113.6	0.4304	0.9619	1181.82	1.02	89.8	0.71234	12.204
29	113.6	112.4	111.3	0.4292	0.9627	1427.04	1.02	79.7	0.80275	13.741
30	111.3	110.2	109.1	0.4281	0.9634	1697.13	1.02	71.0	0.90129	15.417
31	109.1	108.1	107.0	0.4270	0.9641	1892.48	1.02	63.5	1.00818	17.233
32	107.0	106.1	105.1	0.4260	0.9647	2033.34	1.02	57.0	1.12356	19.192
33	105.1	104.2	103.2	0.4251	0.9654	2279.86	1.02	51.3	1.24751	21.295
34	103.2	102.3	101.5	0.4242	0.9660	2572.05	1.01	46.4	1.38004	23.543
35	101.5	100.6	99.5	0.4233	0.9665	2770.78	1.01	42.1	1.52107	25.934
36	99.8	99.0	98.2	0.4225	0.9671	3072.80	1.01	38.3	1.67046	29.465

CAJUA DE PRESION TOTAL: 260.397 / PRESION TOTAL DE DESCARGA: 703.097

PRESION DE DISEÑO: 843.716 / ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.266 PULG

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0 TEMP. INICIAL: 285.0 DIAMETRO INTERNO: 8.0711 ESPESOR SUPUESTO: 0.277

KM	TPI	TPRM	TFT	CP	SGR	VTSC	VEL	NUNREY	FAUCIC	DELTA P
1	285.0	282.5	280.0	0.5143	0.9070	11.58	3.95	19324.7	0.02684	12.484
2	280.0	277.6	275.1	0.5118	0.9086	12.48	3.95	17921.3	0.02735	12.699
3	275.1	272.7	270.3	0.5094	0.9102	13.47	3.94	16606.8	0.02787	12.920
4	270.3	267.9	265.6	0.5070	0.9118	14.55	3.93	15377.1	0.02841	13.149
5	265.6	263.3	260.9	0.5046	0.9133	15.72	3.93	14227.9	0.02897	13.384
6	260.9	258.7	256.4	0.5023	0.9148	17.01	3.92	13155.2	0.02954	13.626
7	256.4	254.2	252.0	0.5001	0.9163	18.41	3.91	12155.0	0.03013	13.876
8	252.0	249.6	247.6	0.4979	0.9177	19.93	3.91	11223.3	0.03074	14.133
9	247.6	245.5	243.3	0.4957	0.9191	21.50	3.90	10356.5	0.03136	14.398
10	243.3	241.2	239.1	0.4936	0.9205	23.22	3.89	9550.4	0.03201	14.670
11	239.1	237.1	235.0	0.4915	0.9219	25.01	3.89	8802.7	0.03266	14.951
12	235.0	233.0	231.0	0.4895	0.9232	27.59	3.88	8108.8	0.03334	15.239
13	231.0	229.0	227.0	0.4875	0.9245	29.97	3.88	7465.8	0.03404	15.535
14	227.0	225.1	223.2	0.4856	0.9258	32.56	3.87	6870.4	0.03475	15.839
15	223.2	221.3	219.4	0.4836	0.9270	35.40	3.87	6310.8	0.03549	16.151
16	219.4	217.6	215.7	0.4818	0.9283	38.50	3.86	5810.9	0.03624	16.472
17	215.7	213.9	212.1	0.4799	0.9295	41.80	3.86	5341.1	0.03701	16.801
18	212.1	210.3	208.5	0.4782	0.9306	45.59	3.85	4907.6	0.03780	17.139
19	208.5	206.8	205.1	0.4764	0.9318	49.83	3.85	4508.1	0.03861	17.485
20	205.1	203.4	201.7	0.4747	0.9329	54.34	3.84	4140.9	0.03944	17.840
21	201.7	200.0	198.3	0.4730	0.9340	59.15	3.84	3801.2	0.04030	18.203
22	198.3	196.7	195.1	0.4714	0.9351	64.11	3.83	3480.5	0.04117	18.575
23	195.1	193.5	191.9	0.4697	0.9361	69.84	3.83	3203.2	0.04206	18.956
24	191.9	190.4	188.8	0.4682	0.9372	76.10	3.83	2940.0	0.04290	19.346
25	188.8	187.3	185.6	0.4666	0.9382	82.91	3.82	2698.4	0.04370	19.748
26	185.6	184.3	182.8	0.4651	0.9391	90.33	3.82	2476.6	0.04450	20.161
27	182.8	181.3	179.9	0.4637	0.9401	98.42	3.81	2273.2	0.04530	20.594
28	179.9	178.5	177.0	0.4622	0.9410	107.21	3.81	2086.7	0.04610	21.037
29	177.0	175.7	174.3	0.4608	0.9420	116.78	3.81	1915.5	0.04691	21.490
30	174.3	172.9	171.6	0.4595	0.9429	127.18	3.80	1759.1	0.04773	21.951
31	171.6	170.2	168.9	0.4581	0.9437	138.47	3.80	1615.7	0.04856	22.421
32	168.9	167.6	166.3	0.4568	0.9446	150.72	3.80	1484.3	0.04941	22.900
33	166.3	165.1	163.8	0.4555	0.9454	164.01	3.79	1364.1	0.05027	23.399
34	163.8	162.6	161.3	0.4543	0.9462	178.41	3.79	1254.0	0.05114	23.917
35	161.3	160.1	158.9	0.4531	0.9470	193.99	3.79	1153.3	0.05204	24.424
36	158.9	157.8	156.6	0.4519	0.9478	210.85	3.78	1061.1	0.05292	24.951

CAIDA DE PRESION TOTAL: 0.23.595 PRESION TOTAL DE DESARROLLO: 1230.460

PRESION DE DISEÑO: 2476.502 ESPESOR MINIMO PERMITIDO: 0.255 PULG

EL ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEMP. MONITOR: 70.0 FT. INITIAL: 245.00 JUMPER: INTERNAL: 10.3123 RESPONOR SUPURSTU: 0.210

RM	FT	PRR04	TFY	CP	SJR	TSO	VEL	HUMRFY	FACFC	DELTA P
1	235.0	281.8	270.5	0.5139	0.0072	1.70	2.42	14970.4	0.02860	3.907
2	270.5	275.5	272.4	0.5105	0.0093	2.88	2.42	13592.8	0.02930	3.994
3	272.4	269.0	266.4	0.5077	0.0113	4.21	2.41	12326.3	0.03003	4.084
4	266.4	263.0	261.5	0.5047	0.0132	5.60	2.40	11164.3	0.03076	4.177
5	261.5	257.6	254.7	0.5015	0.0150	7.04	2.40	10100.1	0.03156	4.274
6	254.7	251.4	249.1	0.4984	0.0170	8.54	2.40	9127.0	0.03237	4.375
7	249.1	246.3	243.6	0.4952	0.0189	10.05	2.39	8239.0	0.03321	4.479
8	243.6	240.9	238.2	0.4920	0.0206	11.57	2.39	7429.9	0.03408	4.588
9	238.2	235.6	233.0	0.4888	0.0223	13.16	2.38	6694.0	0.03498	4.700
10	233.0	230.6	228.0	0.4852	0.0241	14.80	2.38	6025.7	0.03591	4.816
11	228.0	225.5	223.0	0.4817	0.0257	16.51	2.37	5419.9	0.03688	4.937
12	223.0	220.6	218.2	0.4783	0.0274	18.29	2.37	4871.3	0.03787	5.062
13	218.2	215.9	213.5	0.4749	0.0289	20.02	2.36	4375.5	0.03890	5.191
14	213.5	211.2	209.0	0.4716	0.0303	21.58	2.36	3927.9	0.03997	5.324
15	209.0	206.7	204.5	0.4680	0.0318	23.08	2.36	3524.4	0.04106	5.462
16	204.5	202.4	200.2	0.4642	0.0330	24.30	2.35	3161.0	0.04220	5.604
17	200.2	196.1	193.0	0.4601	0.0344	25.78	2.35	2834.3	0.04700	6.232
18	196.1	194.0	192.0	0.4570	0.0358	27.02	2.35	2540.7	0.04700	6.223
19	192.0	190.0	188.0	0.4580	0.0373	28.00	2.34	2277.2	0.04700	6.214
20	188.0	186.1	184.1	0.4650	0.0386	28.79	2.34	2041.0	0.04700	6.206
21	184.1	182.3	180.4	0.4641	0.0398	29.72	2.34	1829.3	0.03499	4.613
22	180.4	178.6	176.6	0.4623	0.0410	30.75	2.33	1639.8	0.03903	5.140
23	176.6	175.0	173.3	0.4605	0.0422	31.00	2.33	1470.3	0.04353	5.725
24	173.3	171.6	169.8	0.4586	0.0433	31.78	2.33	1310.7	0.04853	6.376
25	171.6	168.2	166.5	0.4571	0.0444	32.90	2.33	1183.2	0.05409	7.098
26	168.2	164.9	163.3	0.4555	0.0455	34.06	2.32	1062.1	0.06026	7.898
27	164.9	161.7	160.2	0.4539	0.0465	35.25	2.32	954.0	0.06708	8.783
28	161.7	156.7	154.8	0.4523	0.0475	36.21	2.32	857.5	0.07464	9.762
29	156.7	155.5	154.2	0.4510	0.0485	37.10	2.32	771.2	0.08298	10.642
30	155.5	150.4	148.6	0.4495	0.0494	37.92	2.31	694.3	0.09219	12.033
31	150.4	150.0	148.5	0.4481	0.0505	38.00	2.31	625.5	0.10232	13.347
32	148.6	147.3	145.9	0.4466	0.0513	38.41	2.31	564.1	0.11345	14.781
33	147.3	144.6	143.3	0.4453	0.0521	38.44	2.31	509.3	0.12567	16.358
34	144.6	142.3	141.0	0.4440	0.0533	38.46	2.30	460.2	0.13906	18.084
35	142.3	139.6	138.4	0.4428	0.0535	38.00	2.30	416.4	0.15369	19.970
36	139.6	137.2	135.1	0.4416	0.0545	37.16	2.30	377.2	0.16965	22.026

CAIDA DE PRESION TOTAL: 202.5677 PIES/IN TOTAL DE RESPONOR: 735.446  
 PRESION DE SUPURSTU: 0.210 RESPONOR: 1.1700 DE PERIODO: 6.206 PULG  
 LESMSKOR SUPURSTU ES CORRECTO

TEMP. AMBIENTE: 70.0 TEMP. INICIAL: 285.00 DIAMETRO: 1.1562 PESOS SUPUESTO: 0.210

NO	TEMP.	TEMP.	TEMP.	GP.	GR.	TSO	VEL.	NUMERO	FACILIC	DELTA P
1	285.0	284.4	277.9	0.5137	0.9073	11.76	1.93	13275.8	0.02948	2.272
2	277.9	274.4	271.0	0.5102	0.9096	12.11	1.92	11912.3	0.03029	2.320
3	271.0	267.6	264.2	0.5066	0.9119	12.43	1.92	10672.0	0.03113	2.388
4	264.2	260.4	257.7	0.5035	0.9141	12.76	1.91	9546.4	0.03201	2.449
5	257.7	254.5	251.3	0.5002	0.9162	13.07	1.91	8527.3	0.03283	2.513
6	251.3	248.2	245.1	0.4971	0.9182	13.38	1.90	7606.5	0.03368	2.580
7	245.1	242.1	239.0	0.4940	0.9202	13.69	1.90	6775.5	0.03457	2.650
8	239.0	236.1	233.2	0.4911	0.9222	14.00	1.89	6029.3	0.03549	2.723
9	233.2	230.4	227.5	0.4882	0.9241	14.31	1.89	5359.4	0.03643	2.799
10	227.5	224.8	222.0	0.4854	0.9259	14.62	1.89	4756.9	0.03739	2.877
11	222.0	219.3	216.6	0.4827	0.9277	14.93	1.88	4221.3	0.03835	2.959
12	216.6	214.0	211.5	0.4800	0.9294	15.23	1.88	3742.3	0.03933	3.044
13	211.5	208.9	206.4	0.4775	0.9311	15.54	1.88	3315.1	0.04031	3.132
14	206.4	204.0	201.5	0.4750	0.9327	15.84	1.87	2935.0	0.04130	3.224
15	201.5	199.2	196.9	0.4726	0.9343	16.14	1.87	2597.4	0.04230	3.318
16	196.9	194.5	192.2	0.4703	0.9358	16.44	1.87	2297.9	0.04330	3.413
17	192.2	190.0	187.8	0.4680	0.9373	16.74	1.86	2032.5	0.04430	3.507
18	187.8	185.6	183.5	0.4656	0.9387	17.04	1.86	1797.7	0.04530	3.602
19	183.5	181.4	179.3	0.4637	0.9401	17.34	1.86	1591.1	0.04630	3.698
20	179.3	177.3	175.3	0.4617	0.9414	17.64	1.86	1400.3	0.04730	3.794
21	175.3	173.4	171.4	0.4597	0.9427	17.94	1.85	1244.9	0.04830	3.891
22	171.4	169.5	167.6	0.4578	0.9440	18.24	1.85	1102.2	0.04930	4.000
23	167.6	165.8	164.0	0.4559	0.9452	18.54	1.85	976.4	0.05030	4.130
24	164.0	162.2	160.5	0.4541	0.9464	18.84	1.85	865.5	0.05130	4.264
25	160.5	158.8	157.1	0.4524	0.9475	19.14	1.84	767.9	0.05230	4.412
26	157.1	155.4	153.8	0.4507	0.9485	19.44	1.84	681.9	0.05330	4.574
27	153.8	152.2	150.6	0.4491	0.9496	19.74	1.84	606.2	0.05430	4.750
28	150.6	149.1	147.6	0.4476	0.9507	20.04	1.84	539.5	0.05530	4.940
29	147.6	146.1	144.6	0.4460	0.9516	20.34	1.84	480.7	0.05630	5.144
30	144.6	143.2	141.8	0.4444	0.9525	20.64	1.83	428.9	0.05730	5.362
31	141.8	140.4	139.0	0.4432	0.9535	20.94	1.83	383.2	0.05830	5.594
32	139.0	137.7	136.4	0.4418	0.9544	21.24	1.83	342.9	0.05930	5.840
33	136.4	135.1	133.8	0.4405	0.9552	21.54	1.83	307.3	0.06030	6.100
34	133.8	132.6	131.3	0.4393	0.9559	21.84	1.83	275.9	0.06130	6.374
35	131.3	130.1	129.0	0.4381	0.9567	22.14	1.83	248.1	0.06230	6.662
36	129.0	127.8	126.7	0.4369	0.9576	22.44	1.82	223.5	0.06330	6.964

CALDA DE PRESTON TOTAL: 224.472 PRESION TOTAL DE DESCARGA: 650.930  
 PRESION DE OSEPU: 791.12 PESOS MÍNIMO REAFIRIDA: 0.205 PULG  
 LA PRESION SUPUESTO ES CORRECTO

TEMPERATURA: 70.09TEMP.INICIAL:285.02DIAMETRO INTERNO:13.5627ESPESOR SUPUESTO:0.219

KM	TIC	PERIM	FFI	CP	SUR	TSC	VFL	NUMERO	FACIC	DELTA P
1	235.0	280.8	276.7	0.5134	0.9075	14.57	1.40	11215.0	0.03075	1.067
2	275.7	272.6	268.6	0.5093	0.9102	13.48	1.40	9873.9	0.03174	1.098
3	268.4	264.7	260.8	0.5054	0.9128	15.35	1.39	8674.6	0.03278	1.131
4	260.8	257.0	253.2	0.5015	0.9153	17.51	1.39	7600.4	0.03388	1.166
5	253.2	249.6	245.9	0.4978	0.9178	20.01	1.36	6655.2	0.03503	1.202
6	245.9	242.4	238.8	0.4942	0.9201	22.90	1.35	5813.2	0.03624	1.240
7	238.8	235.6	232.0	0.4907	0.9224	26.26	1.35	5069.4	0.03750	1.280
8	232.0	228.7	225.4	0.4874	0.9246	30.16	1.37	4414.1	0.03882	1.322
9	225.4	222.2	219.0	0.4841	0.9267	34.69	1.37	3830.4	0.04020	1.366
10	219.0	215.9	212.9	0.4810	0.9288	39.94	1.37	3333.9	0.04164	1.412
11	212.9	209.9	206.9	0.4780	0.9308	45.02	1.36	2922.8	0.04310	1.590
12	206.9	204.1	201.2	0.4750	0.9327	51.08	1.36	2500.1	0.04470	1.587
13	201.2	198.4	195.7	0.4722	0.9345	57.26	1.36	2173.2	0.04700	1.584
14	195.7	193.0	190.4	0.4695	0.9363	63.73	1.36	1882.3	0.03400	1.144
15	190.4	187.8	185.2	0.4669	0.9380	70.68	1.35	1630.0	0.03926	1.318
16	185.2	182.8	180.3	0.4644	0.9396	78.32	1.35	1411.5	0.04534	1.520
17	180.3	177.9	175.6	0.4620	0.9412	86.90	1.35	1222.6	0.05235	1.752
18	175.6	173.3	171.0	0.4596	0.9427	96.68	1.35	1059.3	0.06042	2.018
19	171.0	168.8	166.6	0.4574	0.9442	107.96	1.34	911.5	0.06968	2.324
20	166.6	164.5	162.4	0.4553	0.9456	120.76	1.34	797.0	0.08030	2.675
21	162.4	160.4	158.4	0.4532	0.9470	135.33	1.34	692.2	0.09245	3.075
22	158.4	156.4	154.5	0.4512	0.9483	151.17	1.34	602.0	0.10632	3.531
23	154.5	152.6	150.7	0.4493	0.9495	168.98	1.34	524.2	0.12269	4.050
24	150.7	148.9	147.2	0.4475	0.9507	189.21	1.34	457.2	0.13999	4.638
25	147.2	145.4	143.7	0.4457	0.9519	211.34	1.33	399.4	0.16023	5.302
26	143.7	142.1	140.4	0.4440	0.9530	237.88	1.33	349.6	0.18307	6.051
27	140.4	138.8	137.3	0.4424	0.9540	269.26	1.33	306.6	0.20875	6.892
28	137.3	135.7	134.2	0.4409	0.9550	306.11	1.33	269.5	0.23751	7.833
29	134.2	132.6	131.3	0.4394	0.9560	349.94	1.33	237.4	0.26964	8.884
30	131.3	129.9	128.5	0.4380	0.9569	401.32	1.33	209.5	0.30539	10.052
31	128.5	127.2	125.9	0.4366	0.9578	460.79	1.33	185.5	0.34504	11.346
32	125.9	124.6	123.3	0.4353	0.9587	529.90	1.32	164.6	0.38883	12.775
33	123.3	122.1	120.9	0.4341	0.9595	609.19	1.32	146.4	0.43704	14.347
34	120.9	119.7	118.6	0.4329	0.9603	700.17	1.32	130.6	0.48991	16.069
35	118.6	117.4	116.3	0.4317	0.9610	804.33	1.32	116.9	0.54767	17.940
36	116.3	115.3	114.2	0.4306	0.9617	923.10	1.32	104.8	0.61053	19.995

CAIDA DE PRESION TOTAL: 182.5877PRESION TOTAL DE DESCARGA: 599.116

PRESION DE DISEÑO: 708.1397ESPESOR MINIMO REQUERIDO: 0.213PULG

L ESPESOR SUPUESTO ES CORRECTO

TEM. ANTIENF: 76.84; TEM. INICIAL: 285.0; DIAMETRO INTERIO: 15.500; ESPESOR SUPUESTO: 0.254

←	TFT	TFT	CP	SGR	VISC	VEL	NUMER Y	FACT IC	ALIT A P
1	275.1	289.3	0.5131	0.9077	11.98	1.07	9726.5	0.03186	0.587
2	275.5	270.9	0.5085	0.9108	13.86	1.07	8406.7	0.03304	0.586
3	266.4	262.0	0.5040	0.9137	16.08	1.06	7245.9	0.03429	0.606
4	257.5	253.3	0.4996	0.9166	18.70	1.06	6229.1	0.03561	0.628
5	249.0	245.0	0.4955	0.9193	21.81	1.06	5342.0	0.03701	0.650
6	241.9	236.9	0.4915	0.9219	25.47	1.05	4571.1	0.03848	0.674
7	234.6	229.2	0.4876	0.9244	29.64	1.05	3903.5	0.04003	0.699
8	228.4	221.0	0.4839	0.9269	35.01	1.05	3327.6	0.04166	0.726
9	213.2	214.7	0.4803	0.9292	41.13	1.05	2832.3	0.04340	0.817
10	201.2	217.4	0.4769	0.9314	48.38	1.04	2407.8	0.04470	0.815
11	200.5	201.3	0.4736	0.9336	56.97	1.04	2045.0	0.04706	0.813
12	193.1	195.7	0.4705	0.9356	67.17	1.04	1735.6	0.04847	0.837
13	191.0	189.9	0.4675	0.9376	79.11	1.04	1472.6	0.04946	0.749
14	186.9	183.2	0.4646	0.9395	93.25	1.03	1249.3	0.05123	0.881
15	181.4	177.6	0.4618	0.9413	109.89	1.03	1060.1	0.06037	1.036
16	179.9	172.3	0.4592	0.9430	129.42	1.03	900.1	0.07110	1.218
17	149.3	167.3	0.4567	0.9447	152.30	1.03	764.9	0.08367	1.431
18	169.0	162.5	0.4542	0.9463	179.03	1.03	650.7	0.09735	1.679
19	171.1	157.9	0.4519	0.9478	210.14	1.03	554.4	0.11145	1.967
20	171.6	153.4	0.4497	0.9492	246.24	1.02	473.1	0.12597	2.302
21	171.3	149.2	0.4476	0.9506	287.97	1.02	404.5	0.14091	2.680
22	171.2	145.2	0.4456	0.9519	334.04	1.02	346.7	0.15622	3.132
23	171.3	141.4	0.4437	0.9532	384.16	1.02	297.8	0.17191	3.642
24	171.5	137.7	0.4419	0.9544	437.17	1.02	256.5	0.18792	4.223
25	171.6	134.3	0.4401	0.9555	492.92	1.02	221.5	0.20426	4.883
26	171.6	131.0	0.4385	0.9566	551.23	1.02	191.6	0.22094	5.631
27	171.1	127.9	0.4369	0.9576	611.94	1.02	166.4	0.23796	6.471
28	171.3	124.6	0.4354	0.9586	674.99	1.01	145.5	0.25531	7.414
29	171.3	121.4	0.4340	0.9595	740.36	1.01	127.3	0.27299	8.465
30	170.6	118.3	0.4326	0.9604	808.02	1.01	111.7	0.29097	9.632
31	171.0	115.2	0.4313	0.9613	878.09	1.01	98.5	0.30927	10.921
32	171.5	112.2	0.4301	0.9621	950.74	1.01	87.1	0.32791	12.332
33	173.0	111.1	0.4289	0.9628	1026.03	1.01	77.3	0.34680	13.863
34	173.0	110.7	0.4278	0.9636	1104.25	1.01	68.9	0.36595	15.515
35	168.6	107.6	0.4268	0.9642	1185.82	1.01	61.6	0.38536	17.292
36	170.0	105.0	0.4257	0.9649	1270.87	1.01	55.3	0.40502	19.170

GRUPO DE CORRIENTES: 165.157; PRESION TOTAL DE DESCARGA: 564.80

GRUPO DE FISURAS: 0.77; ESPESOR MINIMO PERMITIDO: 0.227PULG

RESULTADO: SUJETO A SER CORRECTO

TEMP. INICIAL: 29.4; DIAMETRO INTERIO: 10.192; ESPESOR SUPERIOR: 0.270

TEMP.	TEMP. INICIAL	TEMP. FINAL	CP	SG	ISCO	VFL	NUMREY	FACTOR	DELTA P	
1	29.4	296.5	282.5	0.5162	0.9558	10.94	2.48	16192.1	0.02805	4.069
2	29.6	279.5	275.4	0.5125	0.9481	12.21	2.48	14509.8	0.02683	4.171
3	29.8	271.8	269.3	0.5099	0.9405	13.66	2.47	12973.4	0.02965	4.278
4	29.3	261.9	261.8	0.5054	0.9428	15.31	2.46	11574.1	0.03050	4.391
5	29.4	258.8	254.7	0.5029	0.9450	17.20	2.46	10303.0	0.03140	4.510
6	29.7	251.4	243.1	0.4987	0.9472	19.36	2.45	9151.7	0.03235	4.634
7	29.1	244.4	241.7	0.4954	0.9493	21.84	2.45	8111.6	0.03334	4.765
8	29.7	236.5	235.8	0.4923	0.9514	24.69	2.44	7174.7	0.03436	4.903
9	29.4	232.3	229.3	0.4892	0.9534	27.97	2.43	6333.0	0.03547	5.047
10	29.3	226.3	223.3	0.4851	0.9554	31.76	2.43	5578.0	0.03661	5.198
11	29.3	220.4	217.5	0.4832	0.9573	36.12	2.42	4905.0	0.03781	5.357
12	29.5	214.6	211.8	0.4803	0.9592	41.16	2.42	4304.5	0.03906	5.524
13	29.8	209.0	206.3	0.4775	0.9610	46.98	2.41	3770.7	0.04038	5.698
14	29.6	203.6	200.7	0.4748	0.9628	53.73	2.41	3297.5	0.04175	5.881
15	29.0	198.3	195.7	0.4721	0.9646	61.54	2.41	2879.0	0.04700	6.608
16	29.7	193.1	190.5	0.4696	0.9663	70.50	2.40	2509.8	0.04700	6.596
17	29.5	188.1	185.6	0.4670	0.9679	81.09	2.40	2184.8	0.04700	6.585
18	29.6	183.2	180.7	0.4646	0.9695	93.28	2.39	1899.4	0.03370	4.713
19	29.7	178.4	176.0	0.4622	0.9711	107.42	2.39	1649.3	0.03881	5.418
20	29.8	173.5	171.5	0.4599	0.9726	123.84	2.39	1430.5	0.04474	6.237
21	29.5	169.3	167.0	0.4576	0.9741	142.92	2.38	1239.6	0.05163	7.186
22	29.0	164.9	162.7	0.4554	0.9755	165.06	2.38	1073.3	0.05963	8.287
23	29.7	160.6	158.5	0.4533	0.9769	190.78	2.37	928.6	0.06892	9.564
24	29.5	156.5	154.4	0.4512	0.9782	220.62	2.37	803.0	0.07970	11.044
25	29.4	152.5	150.5	0.4492	0.9796	255.25	2.37	694.1	0.09221	12.759
26	29.5	148.6	146.6	0.4473	0.9808	295.40	2.36	599.7	0.10671	14.747
27	29.6	144.8	142.8	0.4454	0.9821	341.92	2.36	518.1	0.12352	17.047
28	29.9	141.1	139.3	0.4436	0.9833	395.77	2.36	447.6	0.14207	19.707
29	29.3	137.5	135.8	0.4418	0.9844	458.06	2.36	386.8	0.16347	22.781
30	29.5	134.1	132.4	0.4400	0.9856	530.03	2.35	334.3	0.19147	26.320
31	29.7	130.7	129.1	0.4384	0.9867	613.07	2.35	289.0	0.22147	30.418
32	29.1	127.5	125.9	0.4367	0.9877	708.75	2.35	250.0	0.25603	35.127
33	29.5	124.3	122.8	0.4352	0.9888	818.84	2.35	216.4	0.29581	40.540
34	29.8	121.3	119.8	0.4336	0.9898	945.32	2.34	187.4	0.34149	46.753
35	29.5	118.3	116.7	0.4322	0.9907	1090.35	2.34	162.5	0.39389	53.871
36	29.0	115.5	114.1	0.4307	0.9917	1256.38	2.34	141.0	0.45380	62.014

CAINCO DE PESADO TOTAL: 522.755; PESADO TOTAL DE DE CARGA: 1084.040  
 PULGAS DE MISE EN: 133.648; ESPESOR INTRINSECAMENTE: 0.273 PULGAS  
 L'ESPESOR SUPERIOR ES CORRECTO



TEMPERATURA: 35.03TEMP. INICIAL: 330.00METODO INTERNO: 10.312PRESOR SUPUESTO: 10.219

Nº	III	TPS J4	TFI	CP	SGP	VISC	VFL	NUMREF	FACFIC	DELTA P
1	331.0	325.3	321.7	0.5359	0.4923	2.50	2.44	26940.5	0.02470	3.428
2	321.7	317.6	313.5	0.5318	0.4895	7.18	2.45	24385.8	0.02532	3.504
3	313.5	309.5	305.5	0.5278	0.4862	7.95	2.45	22023.6	0.02597	3.584
4	305.5	301.5	297.7	0.5238	0.4807	6.62	2.44	19845.2	0.02666	3.668
5	297.7	293.9	290.0	0.5199	0.4733	5.81	2.43	17841.6	0.02738	3.756
6	290.0	286.3	282.5	0.5162	0.4658	14.94	2.42	16003.7	0.02813	3.849
7	282.5	278.9	275.3	0.5125	0.4602	14.23	2.42	14322.3	0.02892	3.947
8	275.3	271.7	268.1	0.5088	0.4525	13.69	2.41	12788.5	0.02975	4.049
9	268.1	264.6	261.1	0.5053	0.4479	13.37	2.41	11393.1	0.03063	4.158
10	261.1	257.7	254.3	0.5019	0.4451	17.29	2.40	10127.2	0.03154	4.271
11	254.3	251.3	247.7	0.4985	0.4417	18.89	2.39	8981.9	0.03250	4.391
12	247.7	244.4	241.2	0.4952	0.4385	22.03	2.38	7943.8	0.03351	4.516
13	241.2	238.0	234.8	0.4920	0.4356	24.95	2.38	7019.5	0.03457	4.648
14	234.8	231.6	228.7	0.4889	0.4326	28.31	2.38	6185.8	0.03568	4.787
15	228.7	225.7	222.8	0.4859	0.4295	32.19	2.37	5440.0	0.03684	4.933
16	222.8	219.7	216.8	0.4829	0.4275	36.67	2.37	4774.7	0.03806	5.085
17	216.8	213.9	211.1	0.4800	0.4294	41.86	2.36	4182.7	0.03934	5.246
18	211.1	208.3	205.5	0.4771	0.4313	47.87	2.36	3657.5	0.04069	5.414
19	205.5	202.8	200.1	0.4744	0.4331	54.85	2.35	3192.7	0.04209	5.590
20	200.1	197.4	194.8	0.4717	0.4348	62.93	2.35	2782.3	0.04700	6.231
21	194.8	192.2	189.6	0.4691	0.4366	72.33	2.35	2421.0	0.04700	6.219
22	189.6	187.1	184.6	0.4666	0.4382	83.24	2.34	2103.5	0.04700	6.208
23	184.6	182.2	179.8	0.4641	0.4398	95.23	2.34	1825.3	0.03506	4.623
24	179.8	177.4	175.0	0.4617	0.4414	117.69	2.33	1581.9	0.04046	5.326
25	175.0	172.7	170.5	0.4594	0.4429	127.95	2.33	1369.5	0.04673	6.142
26	170.5	168.2	166.0	0.4571	0.4444	147.82	2.33	1134.5	0.05403	7.090
27	166.0	163.8	161.6	0.4549	0.4459	171.33	2.32	1023.7	0.06252	8.191
28	161.6	159.5	157.5	0.4528	0.4472	197.05	2.32	884.1	0.07239	9.471
29	157.5	155.5	153.2	0.4507	0.4486	227.47	2.32	753.1	0.08387	10.957
30	153.2	151.4	149.4	0.4487	0.4499	265.97	2.31	658.4	0.09721	12.642
31	149.4	147.8	145.5	0.4467	0.4512	307.35	2.31	557.9	0.11270	14.683
32	145.5	143.7	141.8	0.4448	0.4524	357.53	2.31	489.8	0.13068	17.003
33	141.8	140.0	138.2	0.4430	0.4536	414.55	2.30	422.4	0.15152	19.690
34	138.2	136.4	134.6	0.4412	0.4548	487.59	2.30	364.4	0.17565	22.799
35	134.6	132.9	131.2	0.4395	0.4559	556.98	2.30	314.4	0.20358	26.391
36	131.2	129.6	127.9	0.4377	0.4570	645.24	2.29	271.4	0.23583	30.536

CALCULO DE PRESION TOTAL: 297.060 PRESION TOTAL DE DESCARGA: 756.345

PRESION DE EISENO: 907.614 PRESOR MINIMO REQUERIDO: 0.210PULG

LA ESPESUR SUPUESTO ES CORRECTO