



19
2ef
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"

ESTUDIO TERMICO - HIDRAULICO DE UNA
LINEA DE TUBERIA SUBMARINA PARA EL
ABASTECIMIENTO DE COMBUSTOLEO
A LA CENTRAL TERMoeLECTRICA
DE TUXPAN

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:
LUIS ROBLES HERRERA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

LUIS ROBLES HERRERA
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 13 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. FEDEREQUE JAUREGUI RENAUD pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " ESTUDIO TERMICO HIDRAULICO DE UNA LINEA DE TUBERIA SUBMARINA PARA EL ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE A LA CENTRAL TERMoeLECTRICA DE TUXPAN ", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., marzo 11 de 1986
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO GUERRERO VERDEJO

c. c. p. Coordinación de Ingeniería (26)
Unidad Académica
Departamento de Servicios Escolares
Asesor de Tesis

SGV/AMCP/bxo.

I N D I C E

	No. PAG.
INTRODUCCION	
CAPITULO I	
FUNDAMENTO DEL ESTUDIO	
1. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO	1
2. METODOS DE ABASTECIMIENTO	8
3. ALTERNATIVA DE ABASTECIMIENTO	15
4. EXPERIENCIAS ANTERIORES	18
CAPITULO II	
PRINCIPALES ASPECTOS A CONSIDERAR	
A. AISLAMIENTO TERMICO Y RECUBRIMIENTO	23
B. CORROSION	32
C. CARGA ESTATICA	39
D. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	42
E. TEMPERATURA DE DESCARGA DEL COMBUSTOLEO	50
F. COEFICIENTE DE PELICULA	59

G. VISCOSIDAD	67
H. COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA	75
I. CAIDA DE PRESION	79
DATOS REQUERIDOS PARA EL CALCULO DE LA LINEA SUBMARINA.	84
PROGRAMA Y RESULTADOS	86
CAPITULO III	
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	
1. BASES ECONOMICAS	87
2. METODO DE EVALUACION	88
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
NOMENCLATURA	97
BIBLIOGRAFIA	

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

En relación con la selección del sitio para la central -
termoeléctrica Tuxpan proyectada para 4 unidades de 350 Mw -
cada una, la Gerencia de Proyectos Termoeléctricos ha estu-
diado los sitios "A", "B", "C" y "D"; ubicados en el croquis
anexo. Durante dichos estudios se vió la posibilidad de abas-
tecer el combustóleo para la C.T. Tuxpan (A, B, y/o C) cons-
truyendo un muelle para el puerto industrial de Tuxpan en -
una coinversión con Pemex, SCT y CFE; así mismo se consideró
la posibilidad de abastecimiento mediante la construcción -
de un muelle o una monoboya frente al sitio "D". Estas dos -
alternativas fueron objetadas por Pemex, la primera por no
poder participar en la coinversión, y la segunda porque -
Pemex cuestionó la posición de los dos sistemas de descarga
de combustóleo por que quedarían en mar abierto, lo cual -
implicaría un riesgo para las embarcaciones, por falta de -
protección.

Pemex recomendó la barra norte del río Tuxpan como un -

sitio adecuado para el suministro del combustóleo, conside--
rando la instalación de una monoboia y aprovechando la termi
nal marítima existente se vió la posibilidad de localizar la
Central en un sitio a 5Km al norte de la desembocadura del -
Río Tuxpan, llamado sitio Tampamachoco o sitio "T". Para el
cual se presentaron las siguientes opciones de suministro:

- Posibilidad de construir un muelle con pasarela, simi-
lar al de la C.T. Libertad, para que puedan atracar -
los Buque-Tanques de hasta 60,000TPM.
- Posibilidad de descargar el combustóleo por medio de -
monoboia y un combustóleo-ducto submarino.
- Posibilidad de transportar el combustóleo en chalanes
desde la refinería de Cd. Madero, Tamaulipas; hasta -
La Barra Norte de Tuxpan, Ver., utilizando el canal -
intracostero con una longitud de 160Km.

Como las características geotécnicas (Topográficas, -
Geológicas, Geohidrológicas, Mecánica de rocas, Sismológicas)

y las características Oceanográficas (mareas, pendiente del fondo marino, olaje- temperatura del agua, porcentajes de ocurrencia para corrientes y velocidad). Del sitio propuesto por Pemex resultaron aceptables, se optó por analizar las alternativas para el sitio "T", ubicado en el croquis anexo.

Se podría marcar como los objetivos principales que persigue el presente trabajo los siguientes:

1. Obtener las condiciones óptimas (Térmico-Hidráulicas) en el suministro de combustible a la central termo-eléctrica de Tuxpan por medio de una línea de tubería submarina.
2. Tratar de que el desarrollo del estudio (Térmico-Hidráulico) de la línea de tubería submarina sea aplicable a otras centrales en proyecto bajo las mismas condiciones de suministro.

ERRO
AZUL

EL ALAZAN

BARRA DE
GALINDO

MEXICO

SITIO "T" TAMPAMACHOCO

LAG. DE
TAMPAMACHOCO

SITIO "A" y "B"

DESCARTADOS
BARRA NTE.
BARRA SUR

RIO
PANTEPEC

TUXPAN

BARRA DE
TUMILCO

TUMILCO

SITIO "C"
PROBABLE

ALAMO

PUNTA DE
PIEDRA

SITIO "D"

SITIO
CAZONES



BARRA
CAZO-
NES

TIHUATLAN

FINCA CAZONES



ACUIFERO

AEROPUERTO
TAJIN

POZARICA

C A P I T U L O I

FUNDAMENTO DEL ESTUDIO

1 ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

En base a los pronósticos del crecimiento industrial y poblacional se estima que el consumo de energía eléctrica en el período 1975-2000 será elevado.

La creciente demanda de energía eléctrica plantea la necesidad de ampliar en forma continua los sistemas de generación, transmisión y distribución del País, por lo que la Comisión Federal de Electricidad, ha formulado un programa de expansión tendiente a asegurar la continuidad del servicio en los próximos 25 años.

El programa de expansión estipula la construcción de Centrales Termoeléctricas convensionales (a base de Combustible, Carbón y Geotérmicas) entre las cuales se encuentra La Central Termoeléctrica Tuxpan, localizada en la Franja Costera entre La Laguna de Tampamachoco y El Golfo de México a 5km al norte de la desembocadura del Río Tuxpan, en el Estado de Veracruz; a una longitud de 97° 18' 13" oeste con

latitud 20°57' norte y a una altitud sobre el nivel del mar de 3.5 mts.

Para tener acceso a ésta Central se cuenta con la Carretera Federal número 130- México-Tulancingo-Poza Rica. a 348km, de la ciudad de México y a 58km de la ciudad de Poza Rica.

Esta Central constará de 4 unidades Turbogeneradoras con capacidad de 350 Mw cada una. Cada unidad consiste en un generador de vapor diseñado para quemar combustóleo (Bunker "C") o Gas Natural, (aunque para el caso particular de la termoeléctrica Tuxpan el combustible base será únicamente Bunker "C")CMC(máxima carga continua) y un turbogenerador con recalentamiento, así como todos los equipos auxiliares necesarios.

El sistema de agua de enfriamiento para los condensadores será de circuito abierto, con agua proveniente del mar.

La capacidad inicial de la planta será de 700 Mw con

posibilidad de ampliación; estará constituida por 2 genera--
dores de vapor ciclo regenerativo diseñados para emplear -
aceite Bunker "C" producir 1126.6 ton/hr de vapor sobrecalen-
tado a 176 kg/cm² y 541°C.

Cuenta con dos Turbinas Tandem Compaund de doble flujo
con cuatro cilindros de impulso reacción y siete extracciones.

Cuatro extracciones de vapor de baja presión, para el -
calentamiento de agua de condensado.

Una extracción de vapor de presión intermedia para calen-
tar el desaerador.

Dos extracciones de vapor de alta presión, para calenta-
miento del agua de alimentación a la caldera.

Cada turbina acoplada a un generador eléctrico trifásico
con sistema de excitación estático-tiristorizado con una capa-
cidad nominal de 411 000 kva., con un factor de potencia de
0.90, 60Hz y 3000 R.P.M., integrados con todos los sistemas
equipos auxiliares y elementos de control necesarios para -

una operación eficiente y económica de la Central.

La energía eléctrica se conducirá desde la subestación -
de la planta a una línea de transmisión de 400Kv para inte--
grarse al sistema de distribución oriente de la Comisión -
Federal de Electricidad.

1.A Régimen de operación de la planta

Generación de Vapor - Turbina

El régimen de operación estimado del conjunto generador
de vapor turbina es el siguiente:

100% de carga --- 2/26 del tiempo

70% de carga --- 12/26 del tiempo

50% de carga --- 11/26 del tiempo

0% de carga --- 1/26 del tiempo

Con un factor de planta de: F.P. = 0.85

1.B Consumo térmico unitario (C.T.U).

Los valores del C.T.U., se obtuvieron de los balances -
térmicos del ciclo proporcionados por el fabricante del -

turbogenerador para un vacío de diseño de 11.1Kpa abs. y -
son los siguientes:

Carga:	C.T.U.:
(%)	(Kj/kwh)
VTA	8040
100	8002
75	8143
50	8471
25	9562

1.C Utilización del combustible.

El generador de vapor está diseñado para emplear dos -
combustibles:

Aceite Bunker "C" Todo el tiempo normal de operación.

Gas Natural.- Eliminado en la primera etapa de la central.

Aceite Diesel.- Unicamente para el encendido de pilotos
en el arranque de la Central.

1.D Datos climatológicos

Altitud sobre el nivel del mar	3.5m
Presión barométrica	760 Hg
Temperatura media anual	23.4°C
Temperatura húmeda media anual	16.2°C
Humedad relativa promedio anual	47.1%
Temperatura mínima registrada	11.3°C
Temperatura máxima registrada	32.1°C
Dirección dominante del viento	
Velocidad del viento.	

1.E Análisis combustibles por usar en C.T. Tuxpan

A-Aceite combustible (Bunker "C")

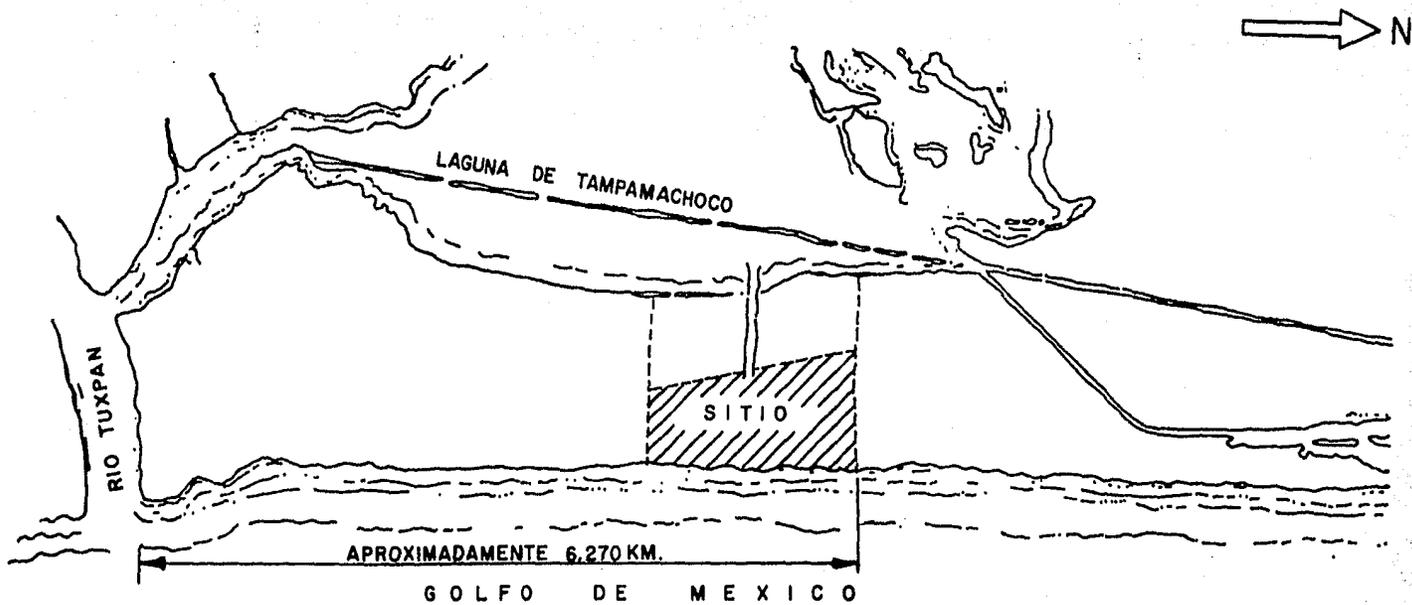
Peso específico	0.958 - 1.016
Temperatura de inflamación °C	138
Viscosidad SSU A 50°C	4600
Nitrogeno %	0.4
Azufre %	3.9

Carbón R.B. %	14.73
Poder calorifico superior	9900 $\frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$
Vanadio PPM	-112
Níquel PPM	25
Cobre PPM	0.3
Sódio PPM	12
Fierro PPM	10
Potacio PPM	0.8 - 5.4
Cenizas %	0.04/0.05

La viscosidad varía linealmente de 5000 SSU a 50°C -
a 340 SSU a 98.9°C.

B - Aceite combustible diesel

Densidad a 20°C	0.833 kg/dcm ³
Densidad API 660/60°F	280
Poder calorifico	10611 k cal/kg
Azufre %	1.8
Viscosidad a 31°C	32 SSU



2 METODOS DE ABASTECIMIENTO USADOS

El sistema de abastecimiento de combustóleo a generadores de vapor en una Central Termoeléctrica convencional , es una parte principal en el desarrollo del ciclo de generación de energía eléctrica: su función es la de proveer combustible en condiciones (requeridas) óptimas (temperatura, presión y volumen) a uno de los tres órganos principales que se utilizan en la transformación de energía calorífica en electricidad y que es el generador de vapor.

Los métodos convencionales de abastecimiento de combustóleo para las Centrales Termoeléctricas son:

- a) Ferrocarril
- b) Autos - Tanque
- c) Buques - Tanque
- d) Ductos

a) Ferrocarril

Aún cuando el transporte por carretera ha aumentado -

considerablemente en los últimos años, es fácil afirmar -
que pocas Centrales Termoeléctricas se pueden instalar -
sin que cuenten con acceso al ferrocarril. Este medio - -
de transporte sigue siendo el único que lleva productos -
a gran escala y a relativo bajo costo.

Con el objeto de precisar perfectamente hasta que punto
es conveniente el uso de ferrocarril en el suministro de
combustóleo para las Centrales Termoeléctricas es necesari
rio analizar el aspecto de fletes, manejo de carga, lo -
que contribuye a decidir si se usa este medio u otro. La
longitud de líneas ferreas en nuestro país alcanza un -
desarrollo de unos 25000 km y no se a podido aumentar en
razón de los grandes obstáculos que presenta el acciden-
tado relieve del suelo nacional. En efecto, el relieve -
y constitución del suelo han sido un poderoso factor nega
tivo que limita la construcción de vías férreas, princi--
palmente en las regiones cubiertas por las grandes -

coordilleras. A pesar de esto, las Centrales Termoeléctricas de Sn. Luis Potosí, lo tiene como suministro principal, y Manzanillo I y II únicamente como abastecimiento de emergencia.

b) Autos - Tanque

El envío de materia prima y elaborada, mediante el uso de caminos carreteros, a tomado gran importancia en México, debido a la gran cantidad de caminos construidos en los últimos años y así observamos que todo producto ligero y de fácil manejo es propio de enviarse en camiones.

Para el manejo y envío de combustibles a las Centrales Termoeléctricas son utilizados Autos-Tanque (pipas). está implementado como servicio alterno, esto es para el caso de emergencia, en falla del sistema principal, y las C.T. donde se tiene son: Tula, Hgo; Valle de México; poza Rica, etc. y Tuxpan, la cual se consideran que deben circular 9 "pipas" de 40,000 lts, cada una por hora.

c) Buques - Tanque

El transporte marítimo es una actividad de vital interés dentro del comercio internacional especialmente si está relacionada con el petróleo, en sus inicios, el petróleo se transportaba en buques de carga, dentro de barriles - de madera. El primer Buque-Tanque de carga lanzado al - agua se construyó en el año 1886 en Gran Bretaña.

La necesidad de transportar el petróleo a los países - importadores, por vía marítima en su mayor parte, - aceleró el desarrollo de la construcción de terminales originalmente, las terminales de carga eran rudimentarias en cuanto a los servicios de que disponían, la carga se - realizaba en forma lenta y la profundidad del agua era - escasa.

Debido al crecimiento experimentado por la industria - petrolera a partir de la Segunda Guerra Mundial, se vió la necesidad de reducir los fletes, forzando de esta -

manera el desarrollo de los Buques-Tanque gigantes y un método que permite una corta estadia de los mismos en puerto.

d) Ductos

De las Refinerías, las Plantas de Tratamiento y Terminales de Almacenamiento se tienden ductos o tuberías a las Centrales Termoeléctricas en forma general se puede decir que estos ductos son para conducir, aceite combustible, diesel o gas a dichas Centrales.

Las tuberías se tienden salvando los obstáculos topográficos que condicionan el trazo, contándose entre los más comunes los ríos, lagunas, pantanos, barrancas, canales, carreteras y vías de ferrocarril.

En cada caso se estudia concienzudamente la clase de tendido a realizar y puede ser:

d.1 Enterrado

d.2 Subfluvial

d.3 Aereo.

Los ductos se protegen contra la corrosión revistiéndolos con alquitrán de hulla, fibra de vidrio y felpa de asbesto.

Su espesor varía entre 2 y hasta 48 pulgadas, según el uso al cual este destinado, las condiciones geográficas y el clima del lugar.

Los ductos subfluviales (generalmente cruzamientos) se extienden a suficiente profundidad, para evitar las erosiones propias del lecho del río o laguna, lastrándose con el objeto de evitar su flotación.

Como antecedente tenemos a la Central Termoeléctrica Manzanillo No. I, la cual cuenta con una línea que cruza la Laguna de Cuyutlán.

Los ductos aereos se construyen con orugas de dilatación antes y después de los cruces, para absorber las elongaciones y construcciones de la tubería expuesta a los

cambios de temperatura.

Las Termoeléctricas que cuentan con este sistema son:

Tula, Guaymas III, Campeche II, Puntaprieta, etc.

En el trayecto de los ductos se instalan estaciones de -
compresión o bombeo, previstos de instrumentos de control
y sistemas de seguridad para impulsar el fluido a su -
destino.

Este medio de distribución eliminó, teóricamente trans--
porte de combustible por carretera y ferrocarril. Además
no contamina, ni modifica la ecología; su vigilancia y
mantenimiento es permanente.

3 ALTERNATIVA DE ABASTECIMIENTO

Como las Centrales Termoeléctricas para su buen funcionamiento, (cuentan con un sistema de agua de alimentación, el de agua de circulación, el de agua de enfriamiento), requiere de gran cantidad de agua y el lugar donde se encuentra en abundancia es en el mar, por lo cual la tendencia actual es ubicar las Centrales Termoeléctricas en las costas o a unos cuantos kilómetros de la orilla marina.

Cuando no se cuenta con instalaciones marinas como muelles, vías férreas, o la cantidad que maneja de combustible es considerable para enviarlo por carretera, se tiene que utilizar un ducto, ya sea aéreo, subterráneo, o como la alternativa propuesta un ducto submarino.

3.A.- Descripción del sistema de suministro.

El aceite combustible que se recibe en la Central, viene por un oleducto submarino de una monoboya terminal marítima, con capacidad para recibir Buques-Tanque de hasta

80 000 TPM, la que estará localizada en una primera -
etapa a una distancia de 4.5 a 5.0 km de la costa y -
recibirá Buques-Tanque hasta de 45 000 TPM.

En la segunda etapa la monoboya estará localizada apro-
ximadamente a 8km de la costa, en una área cápaz de -
permitir maniobras a Buques-Tanque hasta de 80 000 TPM.

Y estará conectada a los tanques de la Central por -
medio de una línea submarina, con una estación de rebom-
beo intermedia.

La Central tendrá para la recepción del combustible en
su primera etapa 2 tanques de almacenamiento con una -
capacidad nominal de $54\ 000\text{m}^3$, (real $51\ 660\text{m}^3$), uno -
para cada unidad, suficiente para 25 días de operación,
al 100% de carga y en la segunda etapa 4 tanques en -
total.

Se cuenta con una caseta de bombeo, el la cual hay tres
bombas que sirven para transferir el combustible al -

tanque de día.

De estas tres bombas operan dos y la otra queda de reserva son de tipo tornillo, de este tanque (día) se envía el combustible a los quemadores de los dos generadores de vapor por medio de las bombas de alta presión.

4.- EXPERIENCIAS ANTERIORES

En las centrales termoeléctricas no se cuenta con ninguna línea instalada, Únicamente se tiene una línea de tubería en la Central Manzanillo I, la cual pasa por debajo de la Laguna de Cuyutlán.

Pero para Pemex la experiencia es basta y tenemos como ejemplo el sistema integral de recolección y transporte de petróleo y gas. Esta red de oleoductos, gasoductos e interconexiones recoge el producto de los centros de perforación y producción que se encuentran localizados en la sonda de Campeche y transporta el crudo a las instalaciones para carga a Buques-Tanque tanto en la terminal marítima Dos Bocas como en Cayo Arcas.

De Dos Bocas, también se envía crudo a las Refinerías del País.

La línea umbilical hacia la costa es un par de ductos de

acero de 36 pulgadas de diámetro, revestidas de concreto, -
las cuales conducen el crudo desde las centrales de Cantarel
y Abkatun.

Se utilizaron ductos marinos con un total de 1400 kilomé
tros de longitud, y diámetros de 10, 16, 20, 24, 36 y 50 -
pulgadas.

C A P I T U L O I I

PRINCIPALES ASPECTOS A CONSIDERAR

La línea submarina conectará a la Central con una monoboya localizada a 4500 mts, de la costa; dicha monoboya recibirá el combustóleo de los Buques-Tanque de Pemex y se enviará hacia la Planta utilizando el bombeo propio de los barcos. Las bombas deberán vencer la caída de presión por tubería y además la carga estática.

También se determinará la temperatura a la cual se recibe el combustóleo en la toma de almacenamiento de la Central después de haber recorrido aproximadamente 5000mts y de ser bombeado a una temperatura de 50°C desde los Buques-Tanque.

Se considerará que se podrán descargar Buques-Tanque de diferentes caladas, cuyos rangos de flujo son desde 2000m³/h (máximo) a 400m³/hr (mínimo), con una temperatura de bombeo de 50°C y una temperatura mínima de recibo en la central de 40°C y una presión de descarga disponible de 9kg/cm².

La tubería va a estar protegida exteriormente con un material anticorrosivo, impermeabilizada y aislada térmicamente para evitar pérdida de temperatura, además con recubrimiento de concreto que servirá como lastre. Para la selección de estos materiales se tomaron datos de dos compañías; una de las cuales tiene en operación una línea submarina para interconectar una refinería con una plataforma marina (Cía. Anonima Petróli Italiana y Socotera Adria Italy) y de las especificaciones de aislamientos térmicos del INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.

Para evitar un sistema de calentamiento se pretende llenar la línea con un líquido (combustóleo ligero o intermedio No. 15 que en condiciones de temperatura ambiente tiene la viscosidad equivalente de un combustóleo pesado a 50°C), de manera que en caso de que la línea se quede empacada con dicho combustible y teniéndose en la línea la temperatura del agua de mar, sea posible desplazar este

combustóleo y recibir la carga de los Buques-Tanque, que en los primeros años de operación se tendrán lapsos de 10 a 15 días hasta la llegada de un nuevo barco.

Se debe de considerar también las variaciones que sufriran las propiedades termodinámicas del combustóleo a lo largo de toda su trayectoria, debido a la caída de temperatura ocasionada por la pérdida de calor del combustóleo, propiedades tales como: densidad, calor específico, conductividad térmica, coeficiente de película, viscosidad y caída de presión, para corroborar que al final de la tubería se tenga una temperatura superior o igual a 40°C y una presión de descarga suficiente para vencer las caídas de presión y la carga estática del sistema.

Para calcular todas estas variables se desarrollará un programa de computadora, dicho programa determinará por tramos el cambio de cada una de las propiedades anteriormente mencionadas.

Haciendo un listado de los aspectos a considerar tenemos:

- A. Aislamiento térmico y recubrimiento.
- B. Corrosión
- C. Carga estática
- D. Mecanismos de transferencia de calor
- E. Temperatura de descarga del combustible
- F. Coeficiente de película
- G. Viscosidad, calor específico y gravedad específica
- H. Coeficiente de conductividad térmica
- I. Caída de presión.

A continuación se hace una breve descripción de ellas y se obtienen las ecuaciones para su determinación en el programa de computadora.

A. Aislamiento térmico y recubrimiento

Se define como sistema de aislamiento térmico a aquel sistema diseñado especialmente para ofrecer alta resistencia a la transferencia de calor.

Existen tres razones fundamentales que justifican el uso de un sistema de aislamiento térmico:

1. Seguridad Industrial
2. Condiciones de proceso
3. Administración de energía.

Seguridad Industrial.- En la industria de transformación las Plantas de proceso y refinación constan de una serie de operaciones y procesos unitarios, que permiten obtener a partir de materias primas, productos terminados esto implica necesariamente la reacción de medios artificiales adecuados al proceso, donde se involucran cambios de presión, temperatura, entre otras variables, que implican una generación, transformación y transferencia de energía y por consiguiente una serie de riesgos potenciales a los operadores que laborarán en el área y que deberán ser cubiertos.

Condiciones de proceso.- en ciertos puntos de un proceso es necesario tener un control riguroso de la temperatura, ya

que de eso puede depender la calidad del producto o el grado de conversión de una reacción, por lo cual se hace indispensable colocar aislante térmico que garantice el punto del proceso como libre de pérdidas de calor.

Administración de energía.- este aspecto es económico, y debido al hecho de que el petróleo como principal energético era barato hasta hace pocos años, este renglón tuvo importancia secundaria para la especificación de los aislantes. Actualmente las fluctuaciones en el precio del petróleo en el mercado internacional, su indiscutible lugar en el desarrollo tecnológico de nuestra época, ya sea como energético o como materia prima y su condición de recurso no renovable, resaltan la importancia que se le puede prestar a esta tercera razón.

Un sistema de aislamiento térmico está constituido básicamente por el material aislante, sus accesorios de sujeción y cubierta de protección denominado acabado.

Existe una variedad de materiales aislantes entre otros se encuentra: y sus (temperaturas de operación recomendadas)

1. Granulares (232 a 1055°C)
2. Fibrosos (0 a 1055°C)
3. Espumosos (-80 a 0°C)
4. Monolíticos (1055°C)
5. Reflectivos (-80°C)

Granulares.- Son materiales aislantes constituidos básicamente de granos o partículas porosas que pueden usarse a granel o aglutinarse y preformarse en piezas rígidas; a continuación se mencionan algunos de los más conocidos.

- a) Silicato de calcio (454 a 704°C)
- b) Perlita (454 a 704°C)
- c) Vermiculita exfoliada (454 a 704°C)

Fibrosos.- Estos materiales son los más versátiles ya que se pueden fabricar como rígidos, semirígidos y flexibles,

su principal limitante es la temperatura a la que los aglutinantes se queman, ejemplo de estos son:

- a) Fibra de vidrio (0° a 232°C)
- b) Lana mineral (0° a 816°C)
- c) Asbesto (0° a 232°C)
- d) Fibras cerámicas (816°C a 1055°C)

Espumosos.- Los aislantes denominados espumosos son materiales de celda cerrada que se obtienen a través de la inyección de agentes espumantes durante el proceso. La mayoría de ellos son orgánicos, aunque los hay inorgánicos en lo que respecta a la estructura del aislante.

La industrialización permitió el desarrollo inicitado de nuevas técnicas y nuevos productos, polímeros sintéticos se empezaron a obtener.

Un polímero es un compuesto de gran peso molecular que se obtiene por la reacción en etapas o en cadena, de moléculas simples con grupos funcionales que permiten la formación de moléculas gigantes con miles de átomos.

La inmensa gama de productos poliméricos son de estructura no cristalina y por consiguiente tienen buena resistencia eléctrica y térmica lo que los hace potencialmente - - susceptibles de uso como aislantes térmicos. Como ejemplos se encuentran:

- a) Poliestireno (-80° a 0°C)
- b) Poliuretano (-80° a 0°C)
- c) PVC (cloruro de polivinilo) (-80° a 0°C)
- d) Epóxicas (-80°C).

Monolíticos.- Existen cementos aislantes hechos a base de silicato de calcio, lana mineral, de perlita etc. y que en sí mismos se usan como aislantes aplicables en superficies irregulares, o bien como material de junteo y para dar uniformidad en el espesor de colchonetas aislantes en las zonas de cintura por flejes o alambres de sujeción.

Reflectivos.- Son aislantes constituidos por láminas - - metálicas pulidas y tratadas para conservar su alta - -

reflectividad, de diseños especiales que le dan características de flexibilidad y de estructura que permiten absorber expansiones y contracciones por temperatura. El material - separador entre las láminas puede ser madera, fibra de vidrio fibra de nylon o poliestireno, etc. pueden aplicarse a altas y bajas temperaturas.

Actualmente su alto costo los hace incompetitivos y su uso está restringido a reactores nucleares de potencia, - cohetes espaciales.

Propiedades del aislamiento térmico empleado.

Poliuretano.- La espuma rígida que actualmente se - obtiene para servicios de aislamiento térmico se a conse-- guido al usar como agente espumante el gas R-11 (monofluoro triclorometano) el cual forma finísimas celdas cerradas de tamaño controlado debido al aditivo modificador de tensión superficial (silicones). el uso del poliuretano como ais-- lante, esta restringido a sistema a bajas temperaturas o

en sistemas duales que no hay riesgo de incendio.

Propiedades Físicas:

Color	Crema
Temp. de operación max/min °F (°C)	200/-100 (93/-73)
Densidad lb/pie ³ (kg/cm ³)	2.2 - 2.4 (35-38)
Combustibilidad	Si arde (auto extingible)
Capilaridad % vol. (28 días)	2.1
Permanencia	3.5
% celdas cerradas	95-85*
Conductividad térmica de fig.1.	0.135

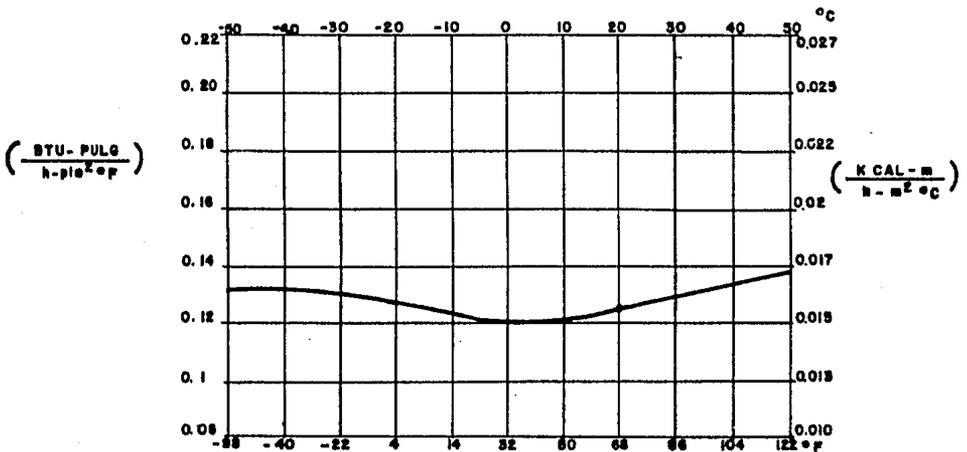


Fig.1 Curva de poliuretano nuevo con 95% de celda cerrada

Concreto.- El concreto se fabrica mezclando cemento y un agregado compuesto de partículas duras e inertes de tamaños variables, tal como una combinación de arena o cribados procedentes de la piedra machacada, con grava, cenizas, ladrillo machacado, u otro material. Se debe usar siempre cemento portland para el concreto armado y para el vaciado bajo el agua.

La mezcla de concreto se proporciona o proyecta para una condición particular de varias maneras:

1. Por selección arbitraria en la experiencia y la práctica común, tal como una parte de cemento, 2 partes de arena, cuatro partes de grava (escrito 1:2:4).
2. Proporcionando la mezcla sobre la base de la relación de agua, cemento ya sea supuesta por criterio que da la experiencia o determinada por mezclas de tanteo con los materiales y las condiciones dadas.

El método de la relación de agua-cemento depende del principio de que la resistencia del concreto con agregados y cemento dados, guarda una relación directa a la relación del volumen de agua al volumen de cemento presente. Cuanto menor sea la relación del volumen de agua al de cemento, conservándose la mezcla en condiciones de trabajarse, más alta será la resistencia del concreto resultante.

B. - Corrosión.

La corrosión es un ataque destructivo de los metales que puede ser de naturaleza química o electroquímica. La corrosión química directa sólo se verifica en condiciones extraordinarias que comprenden un ambiente altamente corrosivo o una elevada temperatura o ambas cosas. Sin embargo, la mayoría de los fenómenos que comprenden la corrosión de metales que contienen agua o están sumergidos en ella, o su corrosión en la atmósfera por películas de humedad, son de naturaleza electroquímica.

Por lo general, todos los materiales metálicos utilizados en la industria tienen suficiente heterogeneidad punto por punto, formada por pequeñas y separadas zonas anódicas y catódicas tan estrechamente juntas que no se pueden distinguir.

Pequeñas diferencias de potencial resultan de leves variaciones en la composición.

El acabado superficial, en los esfuerzos, o bien por las diferencias de concentración del electrólito o de los solutos gaseosos en la fase líquida adyacente.

Como resultado de la reacción electroquímica, la corrosión es acelerada en las aniónicas y retardada o prevenida en las catiónicas. La heterogeneidad del metal y la corrosión electroquímica resultante, producen un cambio constante de zonas aniónicas y catiónicas provocando una amplia variedad de picados, rugosidades y desgastes, en tal forma que la corrosión total aparece uniforme.

La velocidad de corrosión se mide por pérdida de peso en gramos por metro cuadrado por año, o en milímetros por año cuando se refiere a disminución del espesor.

Factores que influyen en la corrosión.

Un gran número de factores influyen en la creación y proporción de la corrosión los más importantes son la temperatura, velocidad, grado de acidez (PH), condiciones oxidantes, condiciones reductoras y humedad.

Como regla general, las proporciones de la corrosión aumentan con incrementos de temperatura. El incremento proporcional de la corrosión en los aceros en medios alcalinos no es tan severo al aumentarse la temperatura como en medios ácidos.

Una reducción en la temperatura puede alcanzar el punto de rocío y como consecuencia la condensación, resultando una corrosión más intensa.

La velocidad aumenta la corrosión dependiendo de las

condiciones de operación y puede deberse a la remoción de -
la película o al suministro constante del elemento corrosivo.

Una reducción en el grado de acidez (PH), dará como re--
sultado un aumento en la corrosión de metales que actúan en
soluciones ácidas; un aumento del mismo, arriba del punto -
neutro, incrementará la corrosión de metales sometidos en -
soluciones alcalinas.

Para el caso de una tubería sumergida, como ya lo dijimos
se corroe donde el metal es anódico y esto puede ocurrir por
causas muy diversas como son: diferentes estructuras crista-
linas del metal, un golpe que sufra, calentamiento debido -
a soldadura de dos tramos, etc.

Medios de Evitarla

a) Pinturas.

La manera más simple de proteger los metales sumergidos
ya sea en agua ó en tierra es por medio de pinturas, pero -
deben ser de buena calidad como por ejemplo epóxicas con -

alquitrán de hulla y su aplicación requiere preparar la superficie limpiando con chorro de arena.

Si se utiliza una pintura corriente, ésta sólo dará protección por muy corto tiempo.

b) Recubrimientos

Los recubrimientos se utilizan principalmente sobre tuberías que van a ser enterradas, lo más común consiste en aplicar una capa de una pintura a base de alquitrán de hulla, y sobre de esta una gruesa capa de alquitrán con una tela de fibra de vidrio arrollada al tubo, y por último se aplica una capa de cartón asfaltado pegado con el mismo alquitrán.

Este método es difícil de aplicar y requiere bastante experiencia y responsabilidad, además el alquitrán por ser un sólido, requiere calentarse para poder ser usado.

En la actualidad han ganado mucho terreno los materiales plásticos que se utilizan en forma de cinta, como las

(cintas de aislar eléctricas), en una de sus caras tienen un material adhesivo y se arrollan al tubo. Estas cintas están hechas de polietileno o cloruro de polivinilo y son superiores a los recubrimientos a base de alquitrán de hulla.

c) Protección Catódica

La protección catódica es un método de protección cuya aplicación práctica es relativamente nueva y data de 35 a 40 años, y en nuestro país se aplica desde hace apenas unos 12 ó 15 años, y es probablemente Pemex sino el primero sí de los primeros en utilizarla.

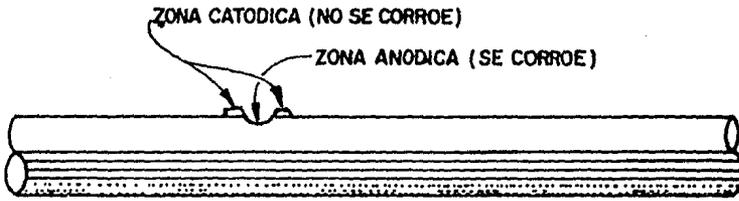
Como mencionamos anteriormente, la corrosión electrolítica consiste en un flujo de energía eléctrica del ánodo al cátodo a través de un electrólito, el ánodo es el polo positivo y el cátodo es el polo negativo, el ánodo se corroe y el cátodo permanece intacto, en vista de esto si aplicamos una corriente eléctrica directa a un metal, conectándolo al polo negativo y el positivo a un metal o barro de grafito, el que se encuentra con polaridad negativa no se ataca. Este sistema se uti--

liza actualmente para proteger de la corrosión exterior -
las tuberías de los oleoductos ya sea enterradas o sumergi--
das en agua. Ver. fig. 2.

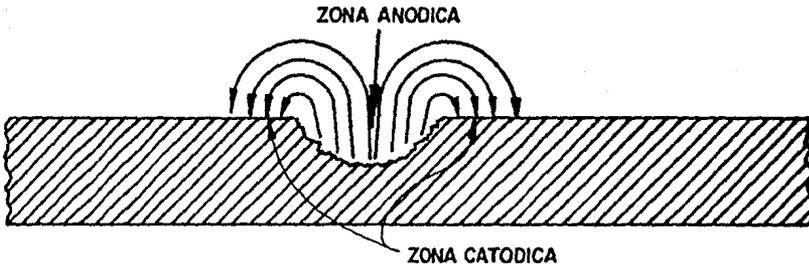
En lugar de aplicar corriente de una fuente externa a -
una tubería, se puede proteger mediante ánodos llamados de -
sacrificio y que generalmente son de magnesio. En este caso
el ánodo se entierra cerca del tubo o fierro por proteger -
y se conectan entre sí, mediante un conductor eléctrico; se
establece un flujo de energía eléctrica del magnesio al -
fierro, cerrándose el circuito a través del conductor que -
los une, es prácticamente una pila galvánica, se corroerá -
el magnesio y el fierro se protege.

Es importante recordar que para que la protección catódica
pueda existir, se requiere la presencia de un electrólito -
que pueda ser la tierra, agua o una solución de una sustancia
inorgánica como por ejemplo la sal común.

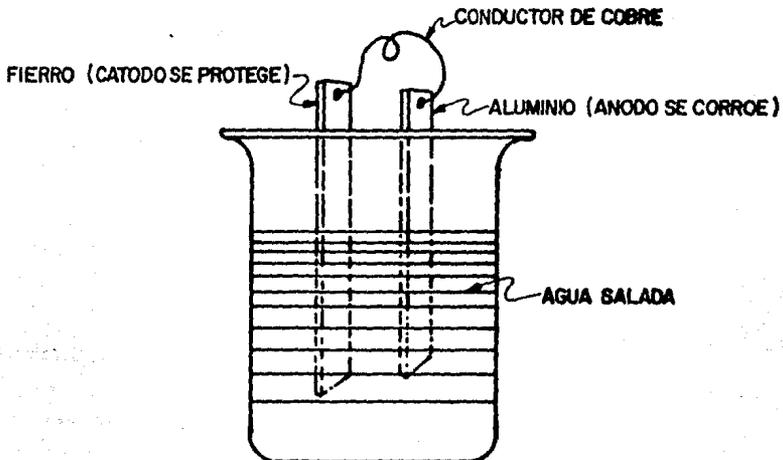
FIG.2



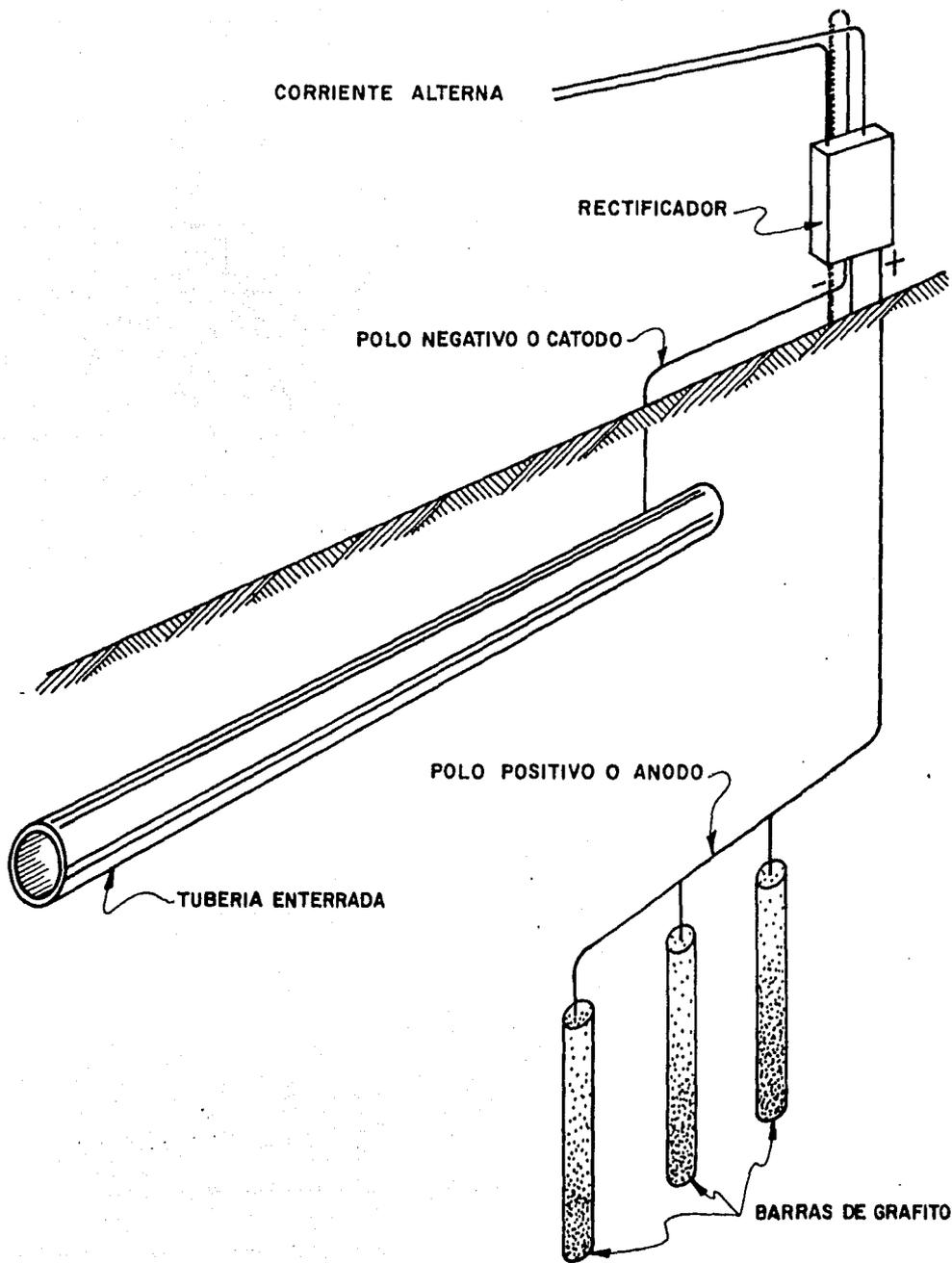
CORROSION ELECTROLITICA



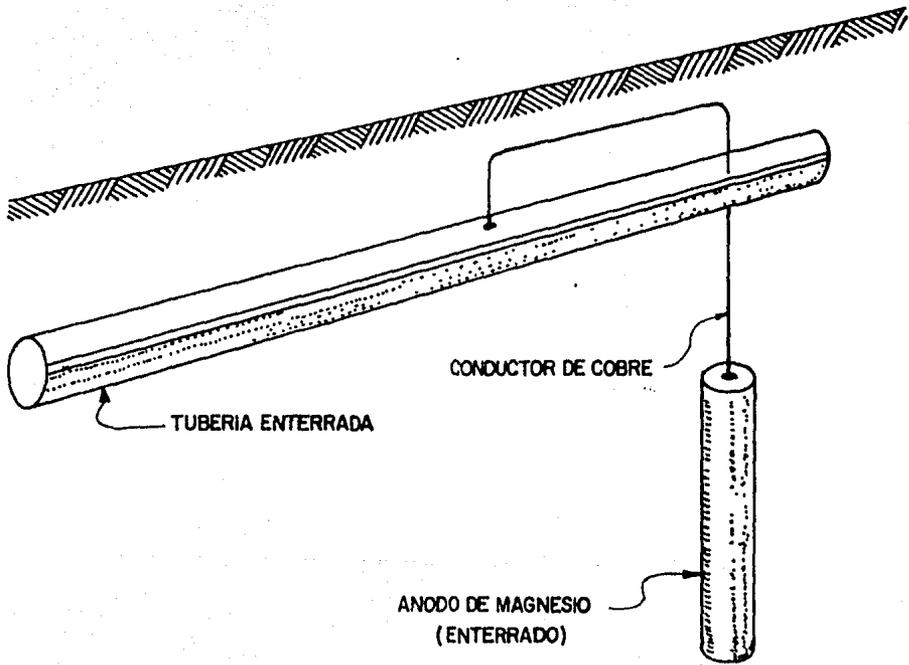
FLUJO DE CORRIENTE DEL ANODO AL CATODO



CORROSION GALVANICA



PROTECCION CATODICA CON ALIMENTACION DE ENERGIA EXTERNA



PROTECCION CATODICA CON ANODO DE MAGNESIO

C.-Carga Estática

Presión atmosférica.- A partir de la definición de presión, que es la fuerza ejercida por unidad de área, se a -
definido como presión atmosférica a la fuerza ejercida en -
una unidad de superficie de la tierra debido al peso de la -
atmósfera. Esta presión varia con respecto a la altura, -
siendo por lo tanto necesario tomar un punto como referen- -
cia para dar la definición cuantitativa de ésta. A partir -
de esto, se define entonces que la presión atmosférica al -
nivel del mar es de 1.03kg/cm² o bien igual a una columna -
de 760 milímetros de mercurio.

Vacio. Cuando la magnitud de una presión resulta ser -
menor que la presión atmosférica, entonces a dicha presión -
se le denomina vacio.

Presión manométrica.- Es la medición que se realiza u -
obtiene sin considerar la magnitud de la presión atmosférica.

Presión absoluta.- Es la medición de presión que sí con -
sidera a la presión atmosférica del lugar y está definida -

como la suma de la presión atmosférica y la presión manométrica.

Columna Hidrostática.- Otro término relacionado con la presión es llamada columna hidrostática ó, simplemente columna. Está definida como la presión resultante de las fuerzas gravitacionales (atmósfera) sobre los líquidos. Esta es medida en altura o sea, en unidades lineales (longitud).

$$P = \rho H$$

P = Presión en (kg/cm²)

ρ = Densidad del líquido de la columna (kg/cm³).

H = Altura de líquido (cm).

Para la determinación de la carga estática de nuestro sistema se utilizó el esquema de la figura(3).

Altura estática

$$H \text{ estática} = \text{elev.} + 20.50 \text{ Elev.} + 1.67 = 18.83\text{m.}$$

de la fórmula general de la hidrostática como $P = \rho g H$..(1)

Para este caso es la densidad del combustóleo

$$\rho_c = \rho_{H_2O} \times \rho_{rc}$$

$$\rho_{H_2O} = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$g = 9.81 \text{ (m/seg}^2\text{)}$$

Sustituyendo en (1) tenemos:

$$p = 9.81 \times 1000 \times \rho_{rc} h \left(\frac{N}{m^2}\right) \dots (A)$$

Sabiendo que:

$$1N = 1/9.81 \text{ kgf}$$

$$1m^3 = 10^6 \text{ cm}^3$$

Sustituyendo estas expresiones en (A)

Tenemos la ecuación final

$$p = \frac{\rho_{rc} h}{10}$$

h en metros

$$p \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

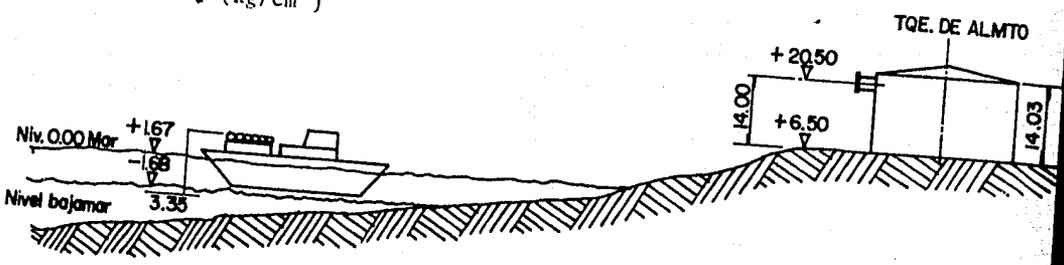


FIG. 3

D.-Mecanismos de transferencia de calor

La energía se puede conceptualizar como parte de la energía interna de la materia, en transición, característica por la cual no se puede almacenar, por esta razón las disposiciones geométricas de los equipos de transferencia de calor tienen la finalidad de obtener los mejores coeficientes posibles para aprovechar al máximo la energía térmica disponible, y por otro lado, los sistemas de aislamiento tienen la finalidad opuesta.

La energía térmica se transferirá siempre que exista una diferencia de nivel energético, es decir, cualquier diferencia de temperatura será suficiente para generar un flujo de calor del medio de mayor a menor temperatura, siendo el flujo variable dependiendo del medio por el que se transfiere. Los mecanismos de transferencia que se describen a continuación permiten explicar este fenómeno de transporte.

Conducción.- Es un flujo de calor a nivel molecular

dentro de la estructura de la materia en fase sólida, también se puede expresar como un mecanismo de transferencia de energía electrónica entre átomos adyacentes a través de la estructura de un cuerpo sólido desde un punto de mayor temperatura a otro punto más frío. Este mecanismo se presenta en las paredes del tubo y el material aislante con que se recubre, razón por la cual se seleccionan materiales de muy baja conductividad térmica para que ofrezcan alta resistencia al flujo de calor.

Convección.- Es un mecanismo de transferencia de calor que opera a nivel macromolecular que se presenta en fluidos por desplazamiento de masas debido al cambio de densidad ocasionado por el flujo de calor, es decir, a medida que el fluido está en contacto con un foco de calor recibe y eleva su temperatura disminuyendo su densidad; se desplazará dando lugar a que el fluido con menor temperatura ocupe el volumen dejado y reciba el calor de dicho foco; este fenómeno

ocasionará un movimiento continuo al que se le llama convección natural. Si por algún medio externo le provoca una mayor velocidad de desplazamiento se aumentará la transferencia de calor, a esto se denomina convección forzada.

Las diversas manifestaciones que presenta la convección tanto a una como a dos fases, son importantes ya que en su concepto esta implícita la relativa transferencia de calor que se lleva a cabo a través de cada caso. Reynolds clasificó los regímenes de flujo que se pueden presentar a una fase y que ayudan a cuantificar el fenómeno.

Radiación.- Este mecanismo de transferencia de calor se lleva a cabo entre dos puntos distantes de diferente nivel energético, sin necesidad de un medio físico de transporte y sin que se eleve necesariamente la temperatura del espacio entre los dos puntos. Este mecanismo opera en virtud de un movimiento ondulatorio en forma semejante a la radiación luminosa. La radiación térmica puede realizarse a través de

vacío y de algunos fluídos, siendo en estos últimos un efecto combinado de la radiación y la convección de los mismos.

Según la teoría ondulatoria, cuando un cuerpo emite energía convierte parte de su energía interna en ondas electromagnéticas de vibración transversal a la dirección de propagación de dichas ondas, las cuales se propagan a través del espacio hasta que chocan o inciden en otro cuerpo donde una parte de ésta se absorbe y convierte en energía interna.

En términos de la teoría cuántica, la radiación es el fenómeno de transporte de energía térmica en forma discontinua como pequeños corpúsculos llamados "cuantos". Dicha energía se origina por el suministro de otros tipos de energía tales como: la eléctrica, la química y la lumínica.

La temperatura de un emisor decrece con la cantidad de energía emitida y permanece constante si la genera o la recibe a la misma velocidad con que la emite.

La manera de cuantificar la contribución de la energía

por radiación se presenta englobada como un coeficiente de convección, la ley que rige este mecanismo es la ley de Stefan-Boltzman, la cual establece que la radiación total de un cuerpo negro perfecto es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo esto es:

$$E_b = 0.173 \times 10^{-8} T^4.$$

Las ecuaciones que se utilizan en el programa para la corrida de computadora se basan en las de transferencia de calor, considerando el flujo de calor en régimen permanente

$$Q = CteA$$

Siendo para cada mecanismo de transmisión de calor:

Calor por conducción:

$$Q = KA \frac{dt}{dl}$$

Calor por convección:

$$Q = hA \Delta T$$

Calor por radiación:

$$Q = \nabla E A T^4$$

Donde:

Q = gasto o flujo de calor

dt/dl = Gradiente de temperatura

K = Conductividad térmica (evaluada experimentalmente)

h = Coeficiente de transferencia de calor (evaluado experimentalmente).

E = Coeficiente de emisividad (determinada experimentalmente).

∇ = Constante de Stefan-Boltzman

A = Area de transferencia de calor

T = Diferencia

En un sistema con aislamiento térmico se presentan los tres mecanismos de transferencia de calor y considerarlos en el cálculo permite aplicarlo a paredes compuestas, en las que se incluyen más de un aislante o un refractario. El modelo empleado se ilustra en la figura 4. En esta figura se puede apreciar que por la parte interna del equipo se tiene

el mecanismo de convección del fluido manejado; en la pared del tubo y en el aislante se tiene el mecanismo de conducción y en la superficie externa del sistema se presenta un mecanismo combinado de convección-radiación al medio externo.

Cuando se pretende aislar una superficie curva, cualquier variación en el espesor del aislante implica una variación logarítmica de la superficie de la cara externa, de manera que en este caso no es posible establecer que Q/A es constante, sin embargo es posible definir una longitud unitaria que permita simplificar el establecimiento de las ecuaciones para este caso.

La ecuación de transferencia de calor de acuerdo con la ley de Fourier es:

$$Q = \frac{\pi (T_1 - T_2)}{\frac{1}{D_1 h_1} + \frac{e_1}{K D_{1m}} + \frac{1}{2K_2} \ln \frac{DE'}{DE} + \frac{1}{h_2 DE'}}$$

$$D_{1m} = \frac{e_1}{\ln \frac{DE}{DI}}$$

Q = Calor transferido a través del sistema

K = Conductividad térmica del material

h = Coeficiente de convección

e = Espesor de la resistencia sólida

D = Diámetro

Cuando se trata de una resistencia cilíndrica compuesta

Ver Fig. 4.

$$T_1 = T_2 + \frac{q}{2\pi Ka} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

$$T_2 = T_3 + \frac{q}{2\pi Kb} \ln \frac{D_3}{D_2}$$

Donde se puede agrupar

$$T_1 - T_3 = \frac{q}{2\pi Ka} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{q}{2\pi Kb} \ln \frac{D_3}{D_2}$$

La ecuación anterior nos da la variación de la temperatura en el sistema de estudio.

q = Flujo de calor por pie lineal

E.-Temperatura de descarga del combustóleo

La temperatura mide el grado de calor o frío de un cuerpo más precisamente, es el potencial para que el calor fluya o circule.

Las escalas comunes de temperatura (Fahrenheit) y Centígrada), se basa en los puntos de congelación y ebullición del agua pura a la presión atmosférica normal. Cuando se desplazan los puntos cero de estas escalas de modo que representen la mínima temperatura alcanzable (cero absoluto), expresarán temperaturas absolutas, y se llaman escalas absolutas (Rankine y Kelvin).

La temperatura se mide de varias maneras, algunas de las más útiles son las siguientes:

- a) Por la expansión térmica de un gas (termómetro de gas)
- b) Por la dilatación térmica de un líquido o un sólido (termómetro de mercurio, elemento bimetalico).
- c) Por la presión o tensión de vapor de un líquido (termómetro de ampolla, de vapor).

- d) Por el potencial termoeléctrico (termopar)
- e) Por la variación de la resistencia eléctrica
- f) Por la variación de la radiación (pirómetros de radiación y ópticos).

Quando un líquido fluye a lo largo del eje de un tubo y absorbe o transmite calor sensible, la temperatura del líquido varia en la longitud del tubo. Para el caso de flujo de calor a través de una pared plana, la temperatura sobre el área completa de cada cara de la pared es idéntica y las diferencias de temperatura son simplemente las diferencias entre cualquier punto de las dos caras. Para el caso de una superficie curva y la transferencia de calor entre dos líquidos, a medida que las temperaturas de los fluidos cambian, la diferencia entre dichas temperaturas cambian, por tanto, encontramos diferencias distintas entre las temperaturas de los fluidos frío y caliente en las diferentes secciones a lo largo de la tubería. En tales casos,

la media logarítmica de la diferencia, de temperaturas (LMTD), se usa en lugar de una simple diferencia de temperaturas ($T_1 - T_2$), ya que la intensidad o velocidad del cambio de las temperaturas de las sustancias no es constante.

Para el caso de corrientes paralelas, ambos fluidos entran en la sección y a medida que van pasando a lo largo de ésta sus temperaturas se aproximan entre sí. Cuando la diferencia de temperaturas es máxima, el gasto o flujo de calor y la velocidad de disminución de la diferencia de temperatura son máximos. A medida que las temperaturas de los fluidos se aproximan una a la otra, este gasto y esta velocidad disminuyen.

Para el caso de contracorriente, la transmisión de calor tiene lugar entre los fluidos en el momento en que cada uno está en su estado más frío, y cuando cada uno está en su estado más caliente.

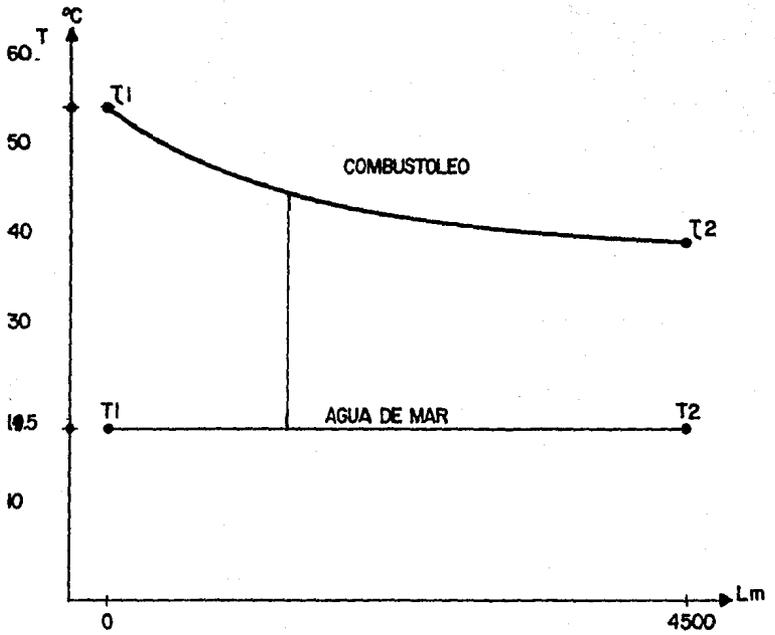
La dirección relativa de los dos fluidos influye en el

valor de la diferencia de temperatura. Es decir, cualquier trayectoria de flujos formados por dos fluidos debe identificarse con sus diferencias de temperatura. Y para su conocimiento se utiliza la ecuación de la media logarítmica de la diferencia de temperaturas que nos dice:

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

Esta ecuación se aplica a uno u otro caso y sirve también cuando la temperatura de uno de los fluidos sea constante como para nuestro caso.

Para identificar la diferencia de temperatura en cualquier punto a lo largo de la longitud del tubo, se utiliza una gráfica que relaciona temperatura de combustóleo y temperatura de agua de mar contra longitud como podemos ver:



t_1 = Temperatura de bombeo del combustible

t_2 = Temperatura mínima que se recibe el combustible

$T_1 = T_2$ = Temperatura del agua de mar.

Así es que la diferencia media logarítmica entre el -
 combustóleo y el agua de mar es:

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

Pero como $T_1 = T_2$ tenemos:

$$LMTD = \frac{t_1 - t_2}{L_n \frac{(t_1 - T_1)}{(t_2 - T_1)}}$$

Utilizando las ecuaciones generales de transferencia de
 calor para uno y otro caso

$$Q = UALMTD \text{ para agua y combustóleo}$$

$$Q = WC_p (t_1 - t_2) \text{ para el combustóleo}$$

Igualando estas ecuaciones obtendremos la ecuación que
 nos define el valor de la temperatura de salida del combustó-
 leo en cada tramo es decir:

$$WC_p (t_1 - t_2) = UA \frac{(t_1 - t_2)}{L_n \frac{(t_1 - T_1)}{(t_2 - T_1)}} \text{ de donde:}$$

$$L_n \frac{(t_1 - T_1)}{(t_2 - T_1)} = \frac{UA (t_1 - t_2)}{WC_p(t_1 - t_2)} \quad \text{Así}$$

$$\frac{(t_1 - T_1)}{(t_2 - T_1)} = e^{\left(\frac{UA}{WC_p}\right)} \quad \text{y finalmente}$$

$$t_2 = \frac{(t_1 - T_1)}{e^{\left(\frac{UA}{WC_p}\right)}} + T_1$$

Coefficiente total de transferencia de calor.- En el inciso de transferencia de calor mencionamos las ecuaciones para determinar el flujo de calor a través de una pared cilíndrica con aislamiento y también mencionamos que existen resistencias al flujo de calor hacia afuera del tubo aislado.

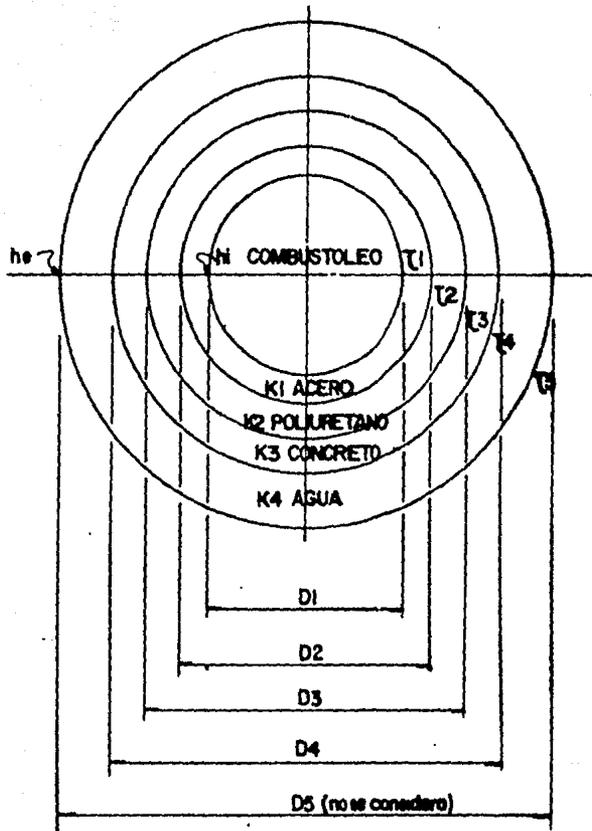
En un tubo con sistema de aislamiento se tienen un conjunto de resistencias. A la suma de éstas se le llama resistencia total (ΣR). En ocasiones, es conveniente sustituir en lugar de esta resistencia total (ΣR), la expresión $1/U$ ó el recíproco de la resistencia total, donde "U" es la transmitancia ó coeficiente total de transferencia de calor.

Para determinar la ecuación del coeficiente total de transferencia de calor "U" de nuestro combustóleo ducto se han de considerar las siguientes resistencias al paso del calor hacia el exterior.

- a) Resistencia de la película del combustóleo con la pared del tubo.
- b) Resistencia de la pared del tubo.
- c) Resistencia de la capa de aislamiento
- d) Resistencia de la capa de concreto
- e) Resistencia de la película del agua con la superficie exterior del concreto.

En la figura siguiente podemos observar los diferentes diámetros que constituyen el sistema, el diámetro 5 no se considera para el cálculo por ser el del agua que rodea el concreto.

Y finalmente vemos la ecuación que nos da el coeficiente total de transferencia de calor.



$$U = \frac{1}{h_i \left[\frac{D4}{D1} + \frac{D4}{2K1} \ln \frac{D2}{D1} + \frac{D4}{2K2} \ln \frac{D3}{D2} + \frac{D4}{2K3} \ln \frac{D4}{D3} + \frac{1}{D3} \right] h_e}$$

FIG. 4

F.-Coeficiente de película

Se observó que en el flujo de calor de una tubería, el paso de calor hacia el medio circundante no se efectúa solamente por convección, en lugar de esto, el flujo se transfiere parcialmente por radiación y parcialmente por convección. Además se vió que existe una diferencia de temperatura entre la superficie de la tubería y la temperatura del medio. Es decir, en el lado caliente de la pared, el fluido está más caliente que la superficie. En el lado frío, el fluido está más frío que la superficie. Por tanto, a través de las películas delgadas de los fluidos adyacentes a las superficies, hay caídas de temperatura. Las caídas se dan entre la temperatura del fluido y la temperatura de la pared interna del tubo, y la pared externa del tubo o bien la pared de la última resistencia y el medio externo, para nuestro caso la temperatura del agua de mar. El gasto o flujo unitario de calor a través de estas películas se llama coeficiente de

película (y otros nombres tales como conductancia de la película, conductancia superficial) y se representa por h .

El coeficiente de película (h) es el gasto o flujo de calor por unidad de área cuando el potencial de temperatura de parte a parte de la película es de 1°C . (o bien 1°F).

Además de que el coeficiente de película es una medida del flujo de calor por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperatura, indica la razón o velocidad a la cual fluidos que tienen una variedad de propiedades físicas y bajo diferentes grados de agitación transfieren calor. Hay otros factores que influyen en los coeficientes de película, como el tamaño del tubo y si se considera que el fluido este o no dentro del tubo. Con tantas variables y cada una teniendo su propio grado de influencia en la razón de transferencia (coeficiente de película), por lo que es difícil aplicar una derivación racional que permita un cálculo directo de los coeficientes de película. Por otra parte, no es práctico

efectuar un experimento para determinar el coeficiente cada vez que se deba añadir o remover calor de un fluido. En lugar de esto, es conveniente, estudiar un método de correlación mediante el cual y con la ejecución de algunos experimentos básicos, con un amplio rango de valores, obtener relaciones que mantengan su validez para cualquier otra combinación de variables.

El método de correlacionar cierto número de variables en una sola ecuación, expresando un efecto, se conoce como análisis dimensional. Ciertas ecuaciones que describen fenómenos físicos pueden obtenerse racionalmente de leyes básicas derivadas de experimentos. Otros efectos pueden describirse por ecuaciones diferenciales, y el curso o extensión del fenómeno se puede deducir por medio del cálculo. Hay otros fenómenos en los que hay insuficiente información para permitir la formulación, ya sea de las ecuaciones diferenciales o de una noción clara del fenómeno al cual se le pueden aplicar

leyes fundamentales. Este último grupo debe ser estudiado experimentalmente, y la correlación de las observaciones es un acercamiento empírico a la ecuación.

Bridgman, ha presentado los principios matemáticos en los que se basa el análisis dimensional. Debido a que este opera únicamente con las dimensiones de las variables, no se pueden producir resultados numéricos directos a partir de las variables, sino que se producen módulos por medio de los cuales los datos observados pueden combinarse y establecer así la influencia relativa de las variables. Establece que cualquier combinación de números y dimensiones, tal como cinco libras o cinco pies, poseen dos aspectos identificantes, uno de la pura magnitud (numérico) y otro cuantitativo (dimensional).

Como ya aclaramos anteriormente, ninguna ecuación simple expresa el coeficiente de película para todas las situaciones, pero de acuerdo a un análisis dimensional

nos conduce a la siguiente ecuación.

$$\frac{hD}{k} = C \left(\frac{D\rho\bar{V}}{\mu} \right)^m \left(\frac{C_p\mu}{K} \right)^n \left(\frac{D}{L} \right)^q$$

Estando el coeficiente de película h en función de una dimensión, D , característica de las superficies que lo contienen, de la densidad ρ , de la conductividad K , de la velocidad \bar{V} , de la viscosidad absoluta μ , del calor específico, C_p , del fluido y de la longitud L de la tubería o conducto en el cual tiene lugar el flujo y la transmisión de calor. La constante C y los exponentes m , n , y q , se fijan de acuerdo con los datos experimentales.

El grupo adimensional hD/K , se llama número N de Nusselt, el grupo $D\rho\bar{V}/\mu$ se conoce como R ó número de Reynolds, y finalmente el otro grupo $\frac{C_p\mu}{K}$ es llamado número P de Prandtl.

Basados en la correlación hecha por Morris, Whitman, Sieder y Tate para el calentamiento y enfriamiento de varios

fluidos, principalmente fracciones de petróleo, en tubos horizontales y verticales se obtuvo una ecuación para el flujo laminar donde $DG/M \leq 2100$. Para determinar el coeficiente de película del lado del combustible y es:

$$h_1 = 1.86 \left[\left(\frac{D_1 G_0}{M} \right) \left(\frac{C_1 M}{K_0} \right) \left(\frac{D_1}{L_1} \right) \right]^{1/3} \left(\frac{M}{M_1} \right)^{0.14} \left(\frac{K_0}{D_1} \right)$$

Los coeficientes de transferencia de calor fuera del tubo (agua de mar) son mayores que para el flujo libre a lo largo del eje del tubo. Los mayores coeficientes de transferencia se originan por un aumento en la turbulencia.

Para determinar el coeficiente de película para el lado del agua de mar (régimen laminar). Cuando $DeGs/M$ toma valores de 2000 a 100 000. El valor del coeficiente de película se obtiene con bastante exactitud por la ecuación.

$$h_0 = 0.36 \left(\frac{DeGs}{M} \right)^{0.55} \left(\frac{CM}{K} \right)^{1/3} \left(\frac{M}{MW} \right)^{0.14} \frac{K}{De}$$

La determinación de las variables de la ecuación para el

cálculo del coeficiente de película para el agua. Tenemos -
una temperatura del agua de mar a una profundidad de aproxi-
madamente -20m es 19.5°C. Con este dato e interpolando de la
tabla A-9 tenemos:

t (19.5°C=67.1°F)	Cp(BTu/Lb°F)	μ (Lb/ft.hr)	K (BTu/hr ft°F)
60	1.000	2.71	0.344
+ 70	- 0.998	- 2.37	- 0.349
10	0.002	0.34	0.005
7.1	- 0.00142	- 0.2414	+ 0.00355
<u>67.1</u>	<u>0.99858</u>	<u>2.4686</u>	<u>0.34755</u>

Por lo tanto los valores de las variables para una tempe-
ratura de 19.5 °C = 67.1°F.

Calor específico del agua Cp= 0.99858 BTu/Lb°F

Viscosidad μ = 2.4686 Lb/ft.hr

Conductividad térmica K = 0.34755

Diámetro equivalente De= 6.95 ft

Para el lado del agua el coeficiente de película será -
constante ,y, considerando el número de Reynolds = 2000 que
es la condición más crítica en flujo laminar del lado exte--
rior del tubo dentro de una zanja en el lecho marino. Fig.5.

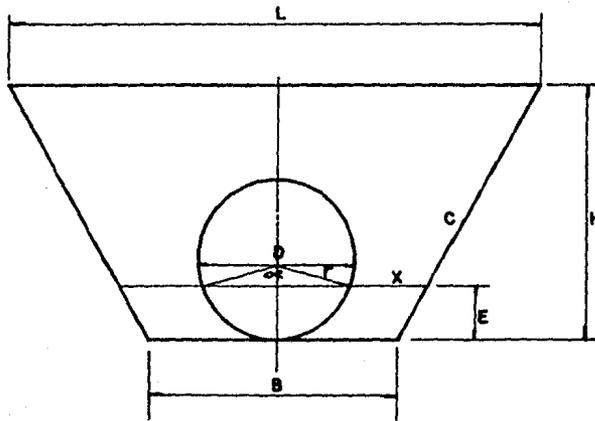
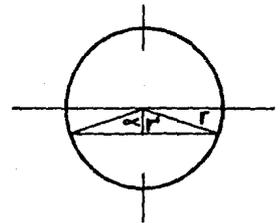


FIG.5 DIAMETRO EQUIVALENTE



$H = 1.5\text{m}$
 $D = 0.75\text{m}$
 $B = 1.5\text{m}$
 $L = 2.5\text{m}$
 $E = 1/5H$
 $C = 1.264\text{m}$
 $X = 0.485$

$r = 0.375\text{m}$
 $r^1 = 0.075\text{m}$
 $\alpha^1 = \text{Cos}^{-1} (r^1/r)$

$\alpha^1 = \text{Cos}^{-1} (0.075/0.375)$
 $\alpha^1 = 78.46 \times 2$
 $\alpha = 157^\circ$
 $Pr = 2c + 2X$

$$DE = \frac{4 \text{ AREA LIBRE}}{\text{PERIMETRO HUMEDO}}$$

$$\text{AREA LIBRE} = A_t - A_c = A_1$$

$$A_t = \frac{2.5 + 1.5}{2} (1.5) = 3\text{m}^2$$

$$A_c = \frac{\pi (0.75)^2}{4} = 0.441\text{m}^2$$

$$A_1 = 3 - 0.441 = 2.55\text{m}^2$$

$$\text{PERIMETRO HUMEDO} = \left[\pi D - \frac{\pi D}{2} \left(\frac{180^\circ}{\alpha} \right) \right] + Pr = Ph$$

$$Ph = (2.35 - 1.027) + 3.498 = 4.826$$

$$De = 4 \frac{A_1}{Ph} = 4 \frac{2.55}{4.826} = 2.12\text{m}$$

$$H_2 = 0.36 (2000)^{0.55} \left(\frac{0.99858(2.4686)}{0.34755} \right)^{1/3} \left(\frac{2.4686}{2.4686} \right)^{0.14} \left(\frac{0.34755}{6.95} \right)$$

$$H_2 = 2.26 \text{ (Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F)}$$

G.- Viscosidad

La viscosidad de un líquido es una medida de la fricción interna que ejerce resistencia al flujo. Esta resistencia, expresada como coeficiente de viscosidad absoluta, es la fuerza requerida para superar la tensión unitaria de cizallamiento a un régimen unitario de esfuerzo cizallante.

Para evaluar esta propiedad es necesario hacer dos suposiciones:

- 1) Donde existe una interfase sólido-líquido, no hay corrimiento entre el sólido y líquido.
- 2) La regla de Newton: el esfuerzo de corte es proporcional al esfuerzo en dirección perpendicular al movimiento.

Considerando un fluido fluente, si existe algún esfuerzo cortante o de deslizamiento del fluido, habrá un movimiento

relativo de una capa con respecto a otra del mismo. En consecuencia, la superficie inferior de este elemento se moverá con una velocidad V_1 , mientras la superior lo hará con otra velocidad V_2 . El cambio o variación en la velocidad, será $V_2 - V_1 = dV$, para una distancia dy . El gradiente de velocidad o variación del deslizamiento unitario es dV/dy . Aplicando la regla de newton que dice: el esfuerzo cortante (τ) sobre el fluido, es proporcional al gradiente de velocidad, o sea:

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy}$$

Donde μ (MU) es una constante de proporcionalidad y se llama viscosidad, viscosidad dinámica o viscosidad absoluta.

$$\mu = \frac{\tau}{dV/dy} \begin{cases} \text{-En los sólidos origina una deformación y} \\ \text{es equivalente al módulo de elasticidad.} \\ \text{-En los líquidos origina una deformación} \\ \text{a un ritmo dado.} \end{cases}$$

También se expresa como viscosidad cinemática (ν) la cual se define como la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad. Así tenemos:

$$\text{viscosidad cinemática} = \mu/\rho = \nu$$

Las unidades utilizadas para el manejo de esta variable en el sistema métrico es el "poise" para la viscosidad absoluta y el "stoke" para la cinemática.

En muchas tablas y gráficas las variables se muestran en relación a la viscosidad cinemática expresada como Segundos Saybolt Universales (SSU) ó Segundos Saybolt Furol (SSF)

La expresión de la viscosidad utilizada en el programa se obtuvo de la siguiente forma:

Del cuadro de análisis de combustóleos procesados en la Refinería de Madero y Minatitlán promedio de datos de 1983-1985.

Viscosidad cinemática @ 50°C (122°F) = 550 SSF

Viscosidad cinemática @ 100°C (212°F) = 31.56 SSF

Convirtiendo estos valores a unidades de viscosidad cinemática y temperatura absoluta tenemos:

$$\text{SSF} = (\text{centistokes}) (0.4717):$$

$$V = 1166 \text{ mm}^2/\text{S} \text{ (centistokes)} @ 323^\circ\text{K}$$

$$V = 67 \text{ mm}^2/\text{S} \text{ (centistokes)} @ 373^\circ\text{K}$$

De la norma ASTM D 341-74 tenemos una ecuación que nos relaciona temperatura y viscosidad.

$$\text{Log}_{10} \text{Log}_{10} (V+0.7) = A - (B \text{Log}_{10} T)$$

Sustituyendo viscosidad cinemática y la temperatura en la ecuación anterior obtenemos los valores para A y B.

$$\text{Log}_{10} \text{Log}_{10} (1166+0.7) = A - (B \text{Log}_{10} 323) \dots (1)$$

$$\text{Log}_{10} \text{Log}_{10} (67+0.7) = A - (B \text{Log}_{10} 373) \dots (2)$$

De la ecuación (1) tenemos:

$$A = 0.486708 + 2.5092 B \dots (3)$$

Y de la ecuación (2) tenemos:

$$B = \frac{0.486708 - 0.2625907}{(0.0625)}$$

$$B = 3.5858768$$

Sustituyendo este valor en (3) obtenemos:

$$A = 9.4843$$

Despejando la viscosidad cinemática de la ecuación -
General y sustituyendo los valores de A y B obtenemos la
ecuación que se va a manejar en el programa para obtener -
los valores de la viscosidad en los diversos tramos de la
tubería.

$$v = 10^{10(9.4843 - (3.5858768 \times \text{Log}_{10} T) - 0.7)}$$

en centipoises $\mu = v\rho$

y en Lb/ft hr $= \mu \times 2.42$

Calor específico

El calor específico de una sustancia se define por la cantidad de calor que entra o sale de una unidad de masa cuando en ésta varía un grado su temperatura. También recibe el nombre de capacidad calorífica específica.

El calor específico depende del proceso, y hay un número infinito de procesos posibles. Por ejemplo, el calor específico de un proceso a volumen constante, C_v , es distinto del de un proceso a presión constante, C_p . Además, aún en un proceso particular, el calor específico no es constante, pero en muchos procesos puede expresarse afortunadamente en función de la temperatura, así pues podemos utilizar la gráfica de calores específicos de hidrocarburos líquidos para determinar la ecuación que utilizaremos en el programa. Así tenemos que para un combustóleo de 11.6 °API.

Punto 1 (80°, 0.419), punto 2 (140, 0.449)

$T_1 = 80^\circ\text{F}$

$T_2 = 140^\circ\text{F}$

$C_{p_1} = 0.419 \text{ BTu/Lb}^\circ\text{F}$

$C_{p_2} = 0.449 \text{ BTu/Lb}^\circ\text{F}$

Si utilizamos la ecuación de la recta tenemos:

$$\frac{C_p - C_{p1}}{T - T_1} = \frac{C_{p2} - C_{p1}}{T_2 - T_1} \text{ sustituyendo valores y despejando}$$

el calor específico C_p obtenemos:

$$C_p = 0.0008T + 0.379 \text{ (BTu/Lb}^\circ\text{F)}$$

Gravedad Específica

Para definir este concepto antes es necesario conocer los términos de densidad específica o absoluta y peso específico.

Estos parámetros no constituyen propiedades distintas, sino expresiones distintas de la misma propiedad.

La densidad específica o absoluta es la masa por unidad de volumen $\rho = m/V$ y es función de la temperatura y de la presión. En los líquidos varía muy poco, salvo a altas presiones.

El peso específico es el peso por unidad de volumen

$$\gamma = w/V.$$

Está en función de la temperatura y de la presión aunque

en los líquidos no varía prácticamente con esta última.

La gravedad específica o densidad relativa es la relación entre la masa del cuerpo (combustóleo) a la masa de un mismo volumen de agua destilada a la presión atmosférica y 4°C. (En estas condiciones $\rho_{H2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$) o bien esta relación es igual a la de los pesos específicos del cuerpo en cuestión (combustóleo) y del agua en las mismas condiciones. Es evidente que la gravedad específica es adimensional.

$$G.S = \frac{\rho_c}{\rho_{H2O}} = \frac{\gamma_c}{\gamma_{H2O}} \quad (\text{adimensional})$$

Para determinar la ecuación de la variación de la gravedad específica en función de la temperatura, utilizamos la información de la gráfica de gravedades específicas de hidrocarburos así tenemos los siguientes datos:

$$T1 = 100^\circ\text{F}$$

$$T2 = 150^\circ\text{F}$$

$$G1 = 0.971$$

$$G2 = 0.952$$

Utilizando la ecuación general de la recta tenemos:

$$\frac{G - G_1}{T - T_1} = \frac{G_2 - G_1}{T_2 - T_1}$$

Sustituyendo valores y despejando la gravedad específica obtenemos:

$$G = 1.009 - 0.00038T \text{ (Adimensional)}$$

H.-Coeficiente de Conductividad Térmica

En muchos sistemas que involucran flujo, tal como flujo de calor, flujo de fluido o flujo de electricidad, se ha observado que la cantidad que fluye es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia que se aplica al sistema, o,

$$\text{Flujo} \propto \frac{\text{potencial}}{\text{resistencia}}$$

En un circuito hidráulico, la presión en el sistema es la diferencia de potencial, y la rugosidad de la tubería es la resistencia al flujo. En un circuito eléctrico el voltaje

en el circuito es el potencial y la dificultad con la que -
los electrones emigran por el alambre, es la resistencia. En
el flujo de calor a través de una pared, el flujo se lleva -
a efecto por la diferencia de temperatura entre las superfi-
cies calientes y frias. Recíprocamente, cuando dos superfi-
cies de una pared están a diferente temperatura, necesaria-
mente existe un flujo y una resistencia al flujo de calor. -
La conductancia es la recíproca de la resistencia al flujo -
de calor.

La conductancia es una propiedad ponderable de toda la -
pared, aún cuando se ha encontrado experimentalmente que el
flujo de calor está independientemente influido por el gro-
sor y el área de la misma. La conductancia obtenida experi-
mentalmente no es útil, y es aplicable unicamente a la pared
experimental. Para permitir un uso más amplio a la informa-
ción experimental, se ha convenido reportar la conductancia
únicamente cuando todas las dimensiones se refieren a valo-

res unitarios y bajo estas características recibe el nombre de Conductividad Térmica "K", que es la cantidad de calor transmitido por unidad de tiempo, a través de una unidad de área por unidad de espesor por unidad de cambio de temperatura.

La conductividad térmica de los metales a una temperatura particular se encuentra que es casi proporcional a la conductividad eléctrica, lo que constituye parte de la evidencia que sugiere que la conductancia térmica también tiene lugar por el movimiento de electrones.

La conductividad térmica de otros materiales sólidos se debe en mayor grado a la actividad térmica de las moléculas y de los átomos. También cambia notablemente con la fase: sólida, líquida o gaseosa.

En forma general, la conductividad aumenta con la densidad y la elasticidad; para materiales aislantes aumenta materialmente con la temperatura; aumenta sustancialmente cuando el material poroso aislante absorbe humedad; y es menor para los

materiales aislantes porosos, celulares, fibrosos o laminares .

Para variaciones de temperatura relativamente pequeñas, - se puede suponer que la conductividad de los sólidos, líqui- dos, y gases varía linealmente con la temperatura.

Considerando que el combustible tiene 11.6°API podremos - determinar la ecuación de la conductividad térmica en función de la temperatura utilizando los puntos de la gráfica de con- ductividades térmicas de hidrocarburos líquidos es decir:

Punto 1 (0,0.069) y punto 2 (600,0.0567)

Utilizando la ecuación general de la recta tenemos:

$$T1 = 0$$

$$T2 = 600$$

$$K1 = 0.069$$

$$K2 = 0.0567$$

La ecuación nos dice que:

$$\frac{K - K1}{T - T1} = \frac{K2 - K1}{T2 - T1} \quad \text{sustituyendo:}$$

valores y despejando K tenemos:

$$\frac{K - 0.069}{T - 0} = \frac{0.0567 - 0.069}{600 - 0}$$

$$K - 0.069 = 0.0000205T$$

$$K = 0.069 - 0.0000205T \quad (\text{BTu/hft}^\circ\text{F})$$

I.- Caida de Presión.

Los conductos que se utilizan para transportar fluídos son de dos clases:

- Conductos cerrados o tuberías en los cuales el fluido se encuentra bajo presión o depresión.
- Conductos abiertos o canales.

Para determinar la resistencia o pérdida de carga en nuestra tubería es necesario conocer como ocurren.

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases: Primarias y secundarias.

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa limite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme por tanto principalmente en los tramos de tubería de sección constante.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que

tienen lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas y en toda clase de accesorios de tubería. Si la conducción es larga (oleoductos, gasoductos...) estas pérdidas tienen poca importancia, pudiendo a veces desprejarse; o bien se toman en cuenta al final, dando un porcentaje a las pérdidas principales encontradas.

Otro factor importante que hay que considerar para determinar las pérdidas de carga en tubería es que el régimen de corriente sea laminar o turbulento y que la tubería sea lisa o rugosa.

Si la velocidad del fluido en la tubería es pequeña, el régimen es laminar. Entonces, la pérdida de carga es proporcional a la primera potencia de la velocidad; en régimen de claradamente turbulento, la pérdida de carga es proporcional a la segunda potencia de la velocidad, y en régimen de transición a una potencia de la velocidad comprendida entre 1 y 2.

Como se ve en régimen turbulento la pérdida de carga es mucho mayor. Advertimos que en realidad no es la velocidad la que condiciona este fenómeno, sino el número de Reynolds.

Existe una infinidad de manuales que están llenos de -
tablas, curvas, ábacos y nomogramas para el cálculo de la -
pérdida de carga en tuberías, que es preciso utilizar con -
precaución. Unas tablas se han construido para utilizarlas -
únicamente para el agua. En estas no se menciona para nada -
la viscosidad por ser un factor constante en el flujo del agua.
Pero es erróneo usarlas cuando se trata de calcular la pérdida
de carga en un conducto de lubricación.

A fines del siglo pasado experimentos desarrollados en -
tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la -
caída de presión era directamente proporcional al cuadrado de
la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería
e inversamente proporcional al diámetro de la misma. La fórmula
que expresa lo anterior es la ecuación de Darcy-Weisbach, la -

cual utilizaremos para determinar la caída de presión en -
nuestro sistema y nos dice:

$$p = \frac{fL\bar{v}^2}{DZg}$$

Para el caso de flujo laminar tenemos:

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

$$Re = \frac{\bar{v}D}{\nu}$$

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

Sustituyendo esta expresión en la ecuación de Darcy-
Wrisbach, obtendremos la caída de presión en la tubería.

$$p = \frac{3.264}{D^2} L\bar{v} \quad (\text{m})$$

La ecuación para la presión requerida a la entrada de la
tubería es:

$$P_{REQ} = \frac{HG}{10} + P. \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Datos requeridos para el cálculo de la línea submarina

- Capacidad tanque de almacenamiento = 51,660m³
= 51'660,0001ts.
- Altura del tanque = 14.63m
= 48'-0"
- Diámetro del tanque = 67.0m
= 220'=0"
- Altura de la boquilla a la entrada del combustible (desde piso a boquilla). = 14.0m
= 46'-0"
- Nivel de la base del tanque (referido al nivel del mar). = 6.5m
= 21'-4"
- Distancia de los tanques hasta la playa. = 450m
- Distancia a la que se colocara la monoboya (desde la playa) = 4500m
- Capacidad de barcos (información del catálogo de Pemex

"flota buques petroleros").

Peso (TM)	Periodicidad (Días)	Flujo (m ³ /hr)	Carga Din. (m)	Ø Descarga (mm) -pulg.	Cap. Volumétrica. (m ³)
11,262	1.47	400	105	203---8	12,737.32
21,704	3.35	900	105	254--10	28,896.84
44,688	6.66	1200	140	355.6-14	57,500.5
55,850	7.86	2000	100	330.2-13	67,816.9

- Longitud de la tubería	5000m
- Temperatura del combustóleo en buques.	50°C
- Viscosidad del combustóleo a 100°C p/diseño a 50°C	31.56 SSF 550 SSF
- Gravedad específica 20/4°C	0.987
- Temperatura del agua de mar para diseño y constante en toda la longitud.	19.5°C
- Capacidad de bombeo de los Buques-Tanque. mínima y máxima.	400 y 2000m ³ /hr.
- Carga dinámica disponible de bombeo en los Buques-Tanque.	140-100 MCA
- Presión de descarga en las bombas de los Buques-Tanque.	9kg/cm ²
- Densidad del combustóleo	11.66°API
- Diámetro de la Tubería	30" Nom.Ced.30
- Material de la tubería	API-SL-GR.B.
- Recubrimientos de la tubería:	
- Protección anticorrosiva	Pintura époxica
- Aislamiento térmico	Poliuretano de 75kg/m ³ 2"Esp.

- Capa impermeabilizante Mastique bitu-
litic-elastomeric
3mm y cubierta -
de polietileno -
extruido.

- Capa exterior para lastre Concreto 3" Esp.

- Carga estática máxima (entre bombas
del buque y boquilla tanque almace-
namiento). 18.83m.

L U I S R O B L E S H E R R E R A

1:QBASIC FCV3.
 2:UBASIC 9R1 SL74R1 04/08/86 13:55:01
 3:
 4:00100 READ T0,T4
 5:00200 READ F,L,N
 6:00300 READ K1,K2,K3
 7:00400 READ D1,D2,D3,D4
 8:00500 READ H
 9:00600 READ Z1
 10:00700 W=0
 11:00800 G2=-.987
 12:00900 G3=-.987
 13:00990 A=T0
 14:00992 I2=0
 15:00994 O2=0
 16:00996 H3=0
 17:00998 I=0
 18:01000 Q7=0
 19:01010 P2=0
 20:01020 B2=0
 21:01030 Q3=0
 22:01040 P6=0
 23:01050 T1=0
 24:01060 T=0
 25:01070 L1=L/N
 26:01080 T3=T0
 27:01090 T5=T0
 28:01110 T3=T3+1.8+32
 29:01120 T5=T5+1.8+32
 30:01130 T0=T0+1.8+32
 31:01140 T4=T4+1.8+32
 32:01150 F2=3.2808
 33:01160 L1=L1*F2
 34:01170 D1=D1*F2
 35:01180 D2=D2*F2
 36:01190 D3=D3*F2
 37:01200 D4=D4*F2
 38:01210 O2=T0
 39:01220 T6=T0
 40:01240 A4=3.14159*D4*L1
 41:01250 A5=3.14159*D2*L1
 42:01260 A1=3.14159*D1^2/4
 43:01270 FOR N1=1 TO N STEP 1
 44:01280 K0=-.069-.0000205*T3
 45:01290 G1=1.009-.00038*T3
 46:01300 W1=F*1000*G2*2.205
 47:01310 C1=0.0005*T3+0.379
 48:01320 C5=0.0005*O2+0.379
 49:01330 T3=(T3-32)/1.8+273
 50:01340 T5=(T5-32)/1.8+273
 51:01350 M=((10^(10^(9.484352-(3.5858768*LGT(T3)))))-.7)*G1*2.42
 52:01360 M1=((10^(10^(9.484352-(3.5858768*LGT(T5)))))-.7)*G2*2.42
 53:01370 T3=(T3-273)*1.8+32
 54:01380 T5=(T5-273)*1.8+32
 55:01390 G0=F*1000*G2*2.205/A1
 56:01400 H1=1.86*((D1*G0/M)*(C1*M/K0)*(D1/L1))^-.33333*(M/H1)^.14*K0/D1
 57:01410 H2=2.26
 58:01412 R1= 1/H1*D4/D1
 59:01414 R2=D4/(2*K1)*LOG(D2/D1)
 60:01416 R3=D4/(2*K2)*LOG(D3/D2)

```

61=01418 R4=D4/(2*K3)*LOG(D4/D3)+1/H2
62=01420 U=1/(R1+R2+R3+R4)
63=01430 T2=(T0-T4)/(2.71828^(U*A4/(C1+C1))) + T4
64=01440 T7=(T0-T2)/LOG((T0-T4)/(T2-T4))
65=01450 T8=T4+T7
66=01460 63=1.009-.00038+02
67=01470 62=1.009-.00038+T8
68=01480 Q1=U*A4+T7
69=01490 I=I+1
70=01500 IF I=5 THEN 1560
71=01520 T3=T8
72=01530 C5=C1
73=01540 T5=T8-Q1/A4+1/H1+D3/D1
74=01550 60 TO 1280
75=01560 T0=T2
76=01570 T3=T8
77=01580 I=0
78=01590 W=W+1
79=01600 Z5=T5+Z5
80=01610 Z7=T8+Z7
81=01620 T9=(T2-32)/1.8
82=01630 Q2=2*K1*A5*(T5-T4)/(D2+LOG(D2/D1))
83=01640 V=F*35.313/A1
84=01650 Q2=Q2*L1/V
85=01660 M3=W1*L1/V
86=01670 T=T2-(Q2/(M3*C5))
87=01680 O1=(T6-T)/LOG((T6-T4)/(T-T4))
88=01690 O2=O1+T4
89=01700 C5=0.0005*02+0.379
90=01710 IF I2=3 THEN 1740
91=01720 I2=I2+1
92=01730 60 TO 1670
93=01740 T1=O2+T1
94=01750 T6=T
95=01760 Q7=Q7+Q1
96=01770 Q0=Q7*.252
97=01780 Q3=Q3+Q2
98=01790 M3=M3+L1/V
99=01800 O2=(O2-32)/1.8+273
100=01810 T8=(T8-32)/1.8+273
101=01820 V7=((10^(10^(9.484352-(3.5858768+L6T(T8))))))-7)+62
102=01830 V5=((10^(10^(9.484352-(3.5858768+L6T(O2))))))-7)+63
103=01840 T8=(T8-273)+1.8+32
104=01850 O2=(O2-273)+1.8+32
105=01860 V1=F/(A1/10.76365)/3600
106=01870 P1=.3264*V7*L1/3.2808*V1/((O1+304.8)^2)
107=01880 P5=.3264*V5*L1/3.2808*V1/((O1+304.8)^2)
108=01890 P2=P1+P2
109=01900 P6=P5+P6
110=01910 NEXT W1
111=01920 Z6=((Z5/W)-32)/1.8
112=01930 Z8=((Z7/W)-32)/1.8
113=01940 P3=P2+W*62/T0
114=01950 P7=P6+W*63/T0
115=01960 Q3=Q3/M3
116=01970 Q4=(Q3+Q7)*.252
117=01980 T=(T-32)/1.8
118=01990 T1=((T1/W)-32)/1.8
119=02000 T4=(T4-32)/1.8
120=02010 PRINT

```

```

121:02020 PRINT
122:02030 PRINT"OLEODUCTO SUBMARINO"
123:02040 PRINT
124:02050 PRINT"DATOS:"
125:02060 PRINT
126:02070 PRINT"DIAMETRO DEL TUBO(PULG.)-----:Z1
127:02080 PRINT"FLUJO DE COMBUSTOLEO(M3/HR)-----:F
128:02090 PRINT"NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS-----:M
129:02100 PRINT"TEMP.INICIAL COMBUSTOLEO(G.C)-----:A
130:02110 PRINT"TEMP.DEL AGUA DE MAR(G.C)-----:T4
131:02120 PRINT"LONG.DE TUBERIA(M)-----:L
132:02130 PRINT"CON AISLAMIENTO DE POLIURETANO"
133:02140 PRINT
134:02150 PRINT
135:02160 PRINT"RESULTADOS:"
136:02170 PRINT
137:02180 PRINT
138:02190 PRINT"CONDICIONES NORMALES:"
139:02200 PRINT
140:02210 PRINT"FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)-----:Q0
141:02220 PRINT"TEMPERATURA MEDIA DE LA PARED DEL TUBO(G.C)-----:Z6
142:02230 PRINT"TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)-----:Z8
143:02240 PRINT"TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)-----:T9
144:02250 PRINT"CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA(KG/CM2)-----:P2
145:02260 PRINT"PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)-----:P3
146:02270 PRINT
147:02280 PRINT
148:02290 PRINT"CONDICIONES CRITICAS:"
149:02300 PRINT
150:02310 PRINT"FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)-----:Q4
151:02320 PRINT"TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)-----:T1
152:02330 PRINT"TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)-----:T
153:02340 PRINT"CAIDA DE PRESION DE LA TUBERIA(KG/CM2)-----:P6
154:02350 PRINT"PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)-----:P7
155:02351 DATA 50,19.5
156:02352 DATA 400,5000,500
157:02353 DATA 29,.01125,.44
158:02354 DATA .7302,.762,.8636,1.016
159:02355 DATA 18.83
160:02356 DATA 30
161:02360 END
162:
163:
164:
165:
166:OLEODUCTO SUBMARINO
167:
168:DATOS:
169:
170:DIAMETRO DEL TUBO(PULG.)----- 30
171:FLUJO DE COMBUSTOLEO(M3/HR)----- 400
172:NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS---- 500
173:TEMP.INICIAL COMBUSTOLEO(G.C)---- 50
174:TEMP.DEL AGUA DE MAR(G.C)----- 19.5
175:LONG.DE TUBERIA(M)----- 5000
176:CON AISLAMIENTO DE POLIURETANO
177:
178:
179:RESULTADOS:
180:

```

181:
182:CONDICIONES NORMALES:
183:
184:FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)----- 117193.42
185:TEMPERATURA MEDIA DE LA PARED DEL TUBO(G.C)---- 49.085162
186:TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)----- 49.661301
187:TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)---- 49.308247
188:CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA(KG/CM2)----- .93582191
189:PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)----- 2.7493574
190:
191:
192:CONDICIONES CRITICAS:
193:
194:FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)----- 1999151.9
195:TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)----- 38.290794
196:TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)---- 38.061244
197:CAIDA DE PRESION DE LA TUBERIA(KG/CM2)----- 2.4975622
198:PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)----- 4.3255906
199:
200: TIME = 1.445
201:
202:
203:
204:
205:OLEODUCTO SUBMARINO
206:
207:DATOS:
208:
209:DIAMETRO DEL TUBO(PULG.)----- 30
210:FLUJO DE COMBUSTOLEO(M3/HR)----- 900
211:NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS--- 500
212:TEMP.INICIAL COMBUSTOLEO(G.C)--- 50
213:TEMP.DEL AGUA DE MAR(G.C)----- 19.5
214:LONG.DE TUBERIA(M)----- 5000
215:CON AISLAMIENTO DE POLIURETANO
216:
217:
218:RESULTADOS:
219:
220:
221:CONDICIONES NORMALES:
222:
223:FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)----- 118617.67
224:TEMPERATURA MEDIA DE LA PARED DEL TUBO(G.C)---- 49.420212
225:TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)----- 49.864581
226:TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)---- 49.689007
227:CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA(KG/CM2)----- 2.0716392
228:PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)----- 3.8846588
229:
230:
231:CONDICIONES CRITICAS:
232:
233:FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)----- 2021888.3
234:TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)----- 44.819686
235:TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)---- 44.66833
236:CAIDA DE PRESION DE LA TUBERIA(KG/CM2)----- 3.1362196
237:PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)----- 4.9557253
238:
239: TIME = 1.419
240:

L U I S R O B L E S H E R R E R A

241:
 242:
 243:
 244:OLEODUCTO SUBMARINO
 245:
 246:DATOS:
 247:
 248:DIAMETRO DEL TUBO(PULG.)----- 30
 249:FLUJO DE COMBUSTOLEO(M3/HR)----- 1200
 250:NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS--- 500
 251:TEMP.INICIAL COMBUSTOLEO(G.C)--- 50
 252:TEMP.DEL AGUA DE MAR(G.C)----- 19.5
 253:LONG.DE TUBERIA(M)----- 5000
 254:CON AISLAMIENTO DE POLIURETANO
 255:
 256:
 257:RESULTADOS :
 258:
 259:
 260:CONDICIONES NORMALES :
 261:
 262:FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)----- 118982.87
 263:TEMPERATURA MEDIA DE LA PARED DEL TUBO(G.C)---- 49.505134
 264:TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)----- 49.909902
 265:TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)---- 49.76603
 266:CAIDA DE PRESION EN LA TUBERIA(KG/CM2)----- 2.7522414
 267:PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)----- 4.5651449
 268:
 269:
 270:CONDICIONES CRITICAS:
 271:
 272:FLUJO DE CALOR DE LA TUBERIA(KCAL/HR)----- 2027654.3
 273:TEMPERATURA MEDIA DEL COMBUSTOLEO(G.C)----- 46.125395
 274:TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO(G.C)---- 45.994469
 275:CAIDA DE PRESION DE LA TUBERIA(KG/CM2)----- 3.74527
 276:PRESION NECESARIA A LA ENTR.TUBO(KG/CM2)----- 5.5630417
 277:
 278: TIME : -690
 279:
 280:UNIVAC BASIC 13:55:16 8 APR 86
 281:
 282:8BK2,E

END ONSITE PRINTOUT ON APRIL 8, 1986 AT 13:56:22
 EADC=BKFILESFCVEAD(2).

C A P I T U L O I I I

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

1.- BASES ECONOMICAS

=====

El análisis económico de proyectos se realiza por medio de procedimientos técnicos para hacer comparaciones entre opciones selectivas y para tomar decisiones al respecto, sobre la base de las ventajas monetarias o económicas que ofrecen. A causa de la complejidad, siempre en aumento de nuestra tecnología industrial, la formulación de decisiones de orden económico presenta cada vez más dificultad y reviste al mismo tiempo importancia más vital. Los análisis económicos sirven para cuantificar las diferencias entre las opciones selectivas, reduciéndolas a bases que facilitan la comparación de los proyectos.

En general, la aplicación de tales técnicas tienen una consideración capital porque puede ahorrarse o perderse mucho en virtud de la opción elegida en particular en las decisiones usuales relativas a los proyectos de inversión. Es más, las decisiones acerca de estos proyectos son el factor que, tomando aisladamente, tiene la mayor trascendencia para determinar el éxito o el fracaso de las empresas.

Una cantidad de dinero tiene una escala infinita de valores equivalentes y potenciales en el curso del tiempo, aunque puede tener existencia real sólo en un momento determinado en el tiempo. En virtud de las oportunidades para invertir dinero y para aumentar su valor, una suma vale hoy día más que la misma suma en algún tiempo futuro.

2.- METODO DE EVALUACION =====

Para determinar los costos se utiliza el metodo de valor presente. El término valor actual o presente significa una cantidad de dinero en una fecha inicial o básica que sea equivalente de una programación particular de ingresos y/o desembolsos, en estudio. Si sólo se trata de desembolso, la mejor expresión es valor actual del costo.

Las bases económicas, las cuales se usarán para determinar los costos tanto operativos como de equipo para la línea submarina, son las que a continuación se indican:

- A.- La adquisición e instalación de (1) una monoboya con accesorios, con un costo de \$ 3' 000,000.00 DLLS USA.

- B.- La adquisición de cuatro (4) mangueras con un costo de -
\$ 40,000.00 DLLS USA, cada una.
 - C.- Adquisición e instalación de tubería aislada con un cos-
to de \$ 600 DLLS USA por metro lineal.
 - D.- Reposición de la monoboya a los quince (15) años de uso.
 - E.- Reposición de manguera cada 5 años.
 - F.- Mantenimiento de monoboya cada 5 años, cuyo costo actual
es \$ 800 000 DLLS USA por cada mantenimiento.
- 1.- Costo de Inversión Total.

Para determinar estos costos necesitamos conocer o evaluar los
costos de inversión inicial y costos de inversión futura.

2.- Costos de Inversión Inicial. (C.I.I.)

Para calcular estos costos se consideran los costos actuales -
de monoboya, manguera y tubería.

C.I.I. = \$ 6'160,000.00 DLLS. USA.

3.- Costos de Inversión Futura. (C.I.F.)

Para determinar los costos de inversión futura se usarán los siguientes conceptos económicos y serán transferidos a valor presente de 1985.

A).- Tasa de recuperación de capital 10%

B).- Del estudio econométrico del Dimex-Wharton se utilizan los índices de escalación anual en U.S.A.

C).- Factor de valor presente:

$$FVP = \frac{1}{(1 + i)^j}$$

i = Tasa de recuperación de capital

j = Número de periodos.

AÑO	ESC.	F V P	MANTENIMIENTO MONOBOYA	REPOSICION MANGUERAS
====	====	====	=====	=====
1985	1	---	-----	-----
1988	1.226	0.9091	PUESTA EN OPERACION	
1993	1.382	0.5645	624111	124822
1998	1.382	0.3505	387512	77500
2003	1.382	0.2176	REPOSICION	
2008	1.382	0.1351	149400	29873
2093	1.382	0.0839	92760	18551

Costos de mantenimiento de la monboya en DLLS. 1985.

$$C.M.M = \frac{1253783}{(1.1)^3} = 941\ 986 \text{ DLLS U.S.A.}$$

Costos reposición de las mangueras en DLLS U.S.A. 1985.

$$C.R.M = \frac{250746}{(1.1)^3} = 188\ 390 \text{ DLLS U.S.A}$$

Costos de reposición de mangueras y monoboya (C.R.M.M.) a los 15

años de operación: Monoboya + Mangueras.

$$C.R.M.M. = \frac{950285}{(1.1)^3} = 713\ 963 \text{ DLLS U.S.A.}$$

por lo tanto los costos operativos (C.O.T.) son:

$$C.O.T. = 8000\ 000 \text{ DLLS. U.S.A.}$$

C A P I T U L O I V

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

Como base principal de esta alternativa de Monoboya flotante y línea de conducción submarina se consideró el estudio de factibilidad de bombeo del combustóleo a lo largo de 5km de tubería, desde el punto de descarga de las bombas del buque-tanque hasta la boquilla de entrada al tanque de almacenamiento.

El análisis consistió de dos condiciones de operación diferente:

La de bombeo continuo o estado estable a un régimen de 2000 m³/hr máximo y de 400m³/hr mínimo y la condición que se considera crítica durante el inicio del bombeo, cuando el combustoleoducto ha permanecido 15 ó más días sin funcionar y se ha disminuido la temperatura del conducto hasta la mínima del agua de mar(19.5°C).

Después de cada operación de descarga de un buque-tanque de aproximadamente 50,000 TPM, (que tiene una duración entre 25 y 30 hrs), durante los primeros años de operación se

tendrán lapsos de 10 a 15 días hasta la llegada de un nuevo barco; durante este período la línea permanecerá llena (empacada con "intermedio" No. 15), que a temperatura ambiente tiene la viscosidad equivalente a un combustóleo pesado a 50°C . Aún cuando el desplazamiento de este intermedio 15, no representa ninguna dificultad mayor que la del bombeo normal del combustóleo puro a 50°C.

Se desarrollaron las ecuaciones para determinar la variación de las propiedades termodinámicas del combustóleo en función de la temperatura. Tales como, gravedad específica, calor específico, conductividad térmica, viscosidad, etc. y haciendo intervenir las ecuaciones de transferencia de calor se analizó el fenómeno de transmisión de calor del primer combustóleo caliente que penetra al ducto y que por lo tanto reduce su temperatura en forma más rápida que el resto del combustóleo que viene atras. Lo anterior no sucede, ya que el coeficiente de transmisión de calor de la película que se

forma inmediatamente junto al metal es muy bajo, siendo esta misma película la que evita que la transmisión de calor del combustóleo caliente hacia el metal frío se efectue en forma rápida.

Además, utilizando la ecuación de flujo de fluidos en tuberías se determinaron las posibles pérdidas de carga en el sistema.

Los resultados se obtuvieron a partir de un proceso iterativo de un programa de computadora que hace variar las condiciones físicas del combustóleo, a través de la tubería, la cual se analizó por tramos.

Obteniéndose así los valores de: la temperatura del combustóleo a la salida de la tubería, pérdida de calor total, caída de presión total, presión requerida a la entrada de la tubería y temperatura media del combustóleo a todo lo largo de la tubería. Este cálculo se hizo en condiciones de régimen de flujo estable y condiciones de flujo crítico (arranque

o llenado de la línea).

Del análisis térmico e hidráulico, podemos concluir que -
si es factible el suministro de combustóleo a la Central -
Termoeléctrica Tuxpan por medio de una línea de tubería submari
rina aislada térmicamente, cuyo diámetro recomendado es de -
30 pulg. Ced. 30. dado que no existe ningún problema en el -
bombeo de combustóleo en una línea de 5km de longitud, con -
la diferencia de niveles, la viscosidad y la temperatura pro-
porcionada por PEMEX, aún en las condiciones más desfavorables
de temperatura de agua de mar y en base a las características
de los equipos de bombeo disponibles actualmente en los -
buques-Tanque . Dicha línea debe quedar empacada con interme-
dio 15 después de cada descarga del buque-tanque, para facilita
tar el bombeo en una descarga posterior, ya que si la línea -
quedara llena de combustóleo pesado, se presentaría el enfriami
miento de este y por consiguiente una taponadura.

En caso de que la tubería quedara accidentalmente empacada

con combustóleo pesado es recomendable calentarla por medio de un traceado de la línea. O una instalación de recirculación.

De acuerdo con los resultados de la corrida de computadora podemos observar que la temperatura de salida del combustóleo en condiciones de régimen de flujo crítico, comparadas con las de régimen de flujo estable, no varían considerablemente, para flujos de 400 a 1200 m³/hr.

Si se hacen consideraciones pertinentes podemos hacer la recomendación de suministrar combustóleo a otras centrales termoeléctricas en proyecto. O bien si alguna central de la cual se haga la evaluación económica de suministro para un determinado sitio y no sea factible suministrar el combustóleo por razones económicas, se puede seleccionar un sitio cerca de la costa pudiendo facilitar mediante este sistema el suministro.

NOMENCLATURA

T_0 = TEMPERATURA DE ENTRADA DEL COMBUSTOLEO AL INICIO DE CADA TRAMO ($^{\circ}\text{C}$).

T_4 = TEMPERATURA DE AGUA DE MAR ($^{\circ}\text{C}$)

F = FLUJO TOTAL DE COMBUSTOLEO (m^3/hr)

L = LONGITUD TOTAL DEL COMBUSTOLEODUCTO (m)

N = NUMERO DE TRAMOS

K_1 = CONDUCTIVIDAD DEL ACERO ($\text{BTU.FT}/\text{hrFT}^2$)

K_2 = CONDUCTIVIDAD DEL AISLAMIENTO ($\text{BTU.FT}/\text{hrFT}^2$)

K_3 = CONDUCTIVIDAD DEL CONCRETO ($\text{BTU.FT}/\text{hrFT}^2$)

H = CARGA ESTATICA (m)

Z_1 = DIAMETRO NOMINAL (PLG)

G_2 = GRAVEDAD ESPECIFICA COMB. A 55°C

L_1 = LONGITUD POR CADA TRAMO

T_3 = TEMPERATURA MEDIA DEL COMB. DEL TRAMO

T_5 = TEMPERATURA EN EL METAL LADO COMB.

A_4 = AREA EXTERIOR CONCRETO DEL TRAMO

A_1 = AREA SECCION TRANSVERSAL DEL TUBO REF. DIAM. INT.

W1= FLUJO TOTAL (LB/h1)

Ko= CONDUCTIVIDAD TERMICA COMBUSTOLEO

G1= GRAVEDAD ESPECIFICA DEL COMBUSTOLEO

C1= CALOR ESPECIFICO DEL COMBUSTOLEO

M1= VISCOSIDAD ABSOLUTA DEL COMBUSTOLEO A LA TEMPERATURA
MEDIA T3.

M = VISCOSIDAD ABSOLUTA DEL COMBUSTOLEO A LA TEMPERATURA
DEL METAL T5.

H1= COEFICIENTE DE PELICULA DEL COMBUSTOLEO

H2= COEFICIENTE DE PELICULA DEL AGUA DE MAR

U = COEFICIENTE TOTAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

T2= TEMPERATURA DE SALIDA DEL COMBUSTOLEO DEL TRAMO

T7= TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA DE CADA TRAMO

T8= TEMPERATURA MEDIA DEL TRAMO

G2= GRAVEDAD ESPECIFICA DEL COMBUSTOLEO A LA TEMPERATURA T8.

TABLE A-9

$^{\circ}\text{F}$	C_p $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}\cdot^{\circ}\text{F}}$	ρ $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$	M $\frac{\text{lb}}{\text{ft}\cdot\text{hr}}$	K $\frac{\text{Btu}}{\text{hr}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F}}$
32	1.009	62.42	4.33	0.327
40	1.005	62.42	3.75	0.332
50	1.002	62.38	3.17	0.338
60	1.000	62.34	2.71	0.344
70	0.998	62.27	2.37	0.349
80	0.998	62.17	2.08	0.355
90	0.997	62.11	1.85	0.360
100	0.997	61.99	1.65	0.364
110	0.997	61.84	1.49	0.368
120	0.997	61.73	1.36	0.372
130	0.998	61.54	1.24	0.375
140	0.998	61.39	1.14	0.378
150	0.999	61.20	1.04	0.381
160	1.000	61.01	0.97	0.384
170	1.001	60.79	0.90	0.386
180	1.002	60.57	0.84	0.389
190	1.003	60.35	0.79	0.390
200	1.004	60.13	0.74	0.392
220	1.007	59.63	0.65	0.395
240	1.010	49.10	0.59	0.396
260	1.015	58.51	0.53	0.396
280	1.020	57.94	0.48	0.396
300	1.026	57.31	0.45	0.395
350	1.044	55.59	0.38	0.391
400	1.067	53.65	0.33	0.384
450	1.095	51.55	0.29	0.378
500	1.030	49.02	0.26	0.356
550	1.200	45.92	0.23	
600	1.362	42.37	0.21	

COMBUSTOLEO PESADO

ANALISIS DE COMBUSTOLEOS PROCESADOS POR DIVERSAS REFINERIAS DE PEMEX
 PROMEDIO DE DATOS DE LOS AÑOS 1983-1985.

	MADERO	MINATITLAN
1. PESO ESPECIFICO 20/4°C	0.9356	0.9783
2. DENSIDAD °API	11.66	12.65
3. VISCOSIDAD 50°C SSF	488.2	488.0
4. VISCOSIDAD 82.2°C SSF	71.1	71.7
5. VISCOSIDAD 100°C * SSF	31.56	24.8
6. TEMP. DE ESCURRIMIENTO °C	3.4	5.5
7. TEMP. DE INFLAMACION °C	74.0	93.8
8. AGUA Y SEDIMENTO % VOL.	0.12	0.17
9. CARBON RAEBSBOTTON % P	14.56	12.97
10. PODER CALORIFICO BTU/lb	18.427	18.749
11. PRESION DE VAPOR lb/in ²	4.49	4.17
12. CONTENIDO DE AZUFRE % P	3.59	2.72
13. CONTENIDO DE CENIZAS % P	0.059	0.040
14. INSOLUBLES EN PENTANO % P	18.67	12.87
15. CONTENIDO DE NIQUEL ppm	57.77	39.94
16. CONTENIDO DE SODIO ppm	60.69	37.26
17. CONTENIDO DE VARADIO ppm	336.98	240.92

* PROMEDIO DE VALORES DE 1985

** PARA DISEÑO DE VISCOSIDAD USAR 550 SSF A 50°C

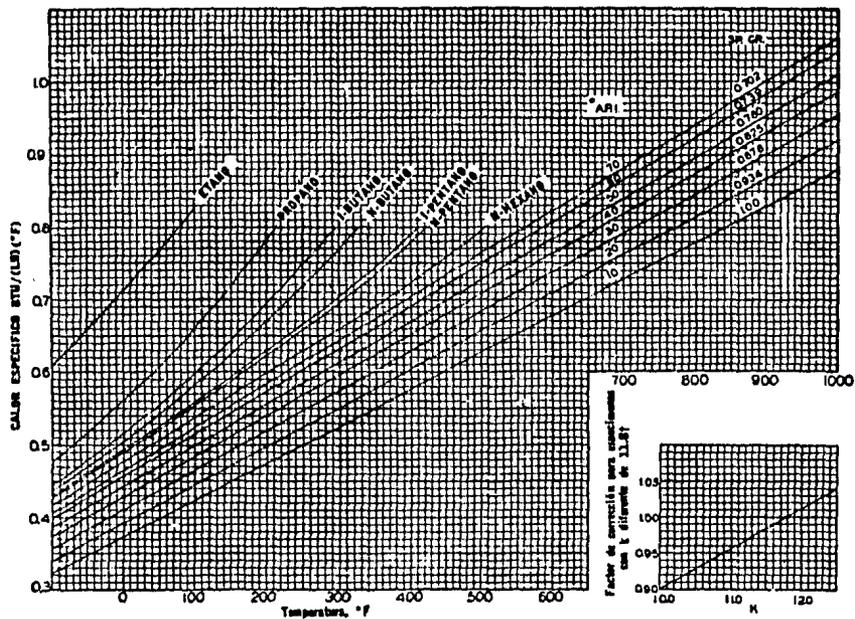


Fig. 4. Calores específicos de hidrocarburos líquidos. [Holcomb and Brown, Ind. Eng. Chem. 34, 595 (1942)]

†K - Factor de corrección

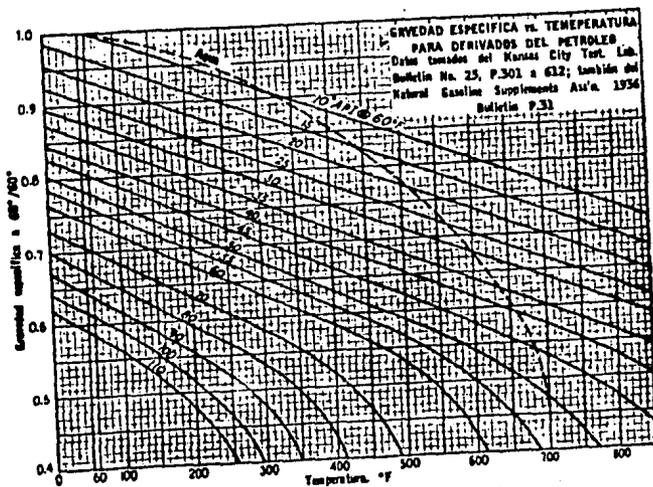


Fig. 6. Gravedades específicas de hidrocarburos

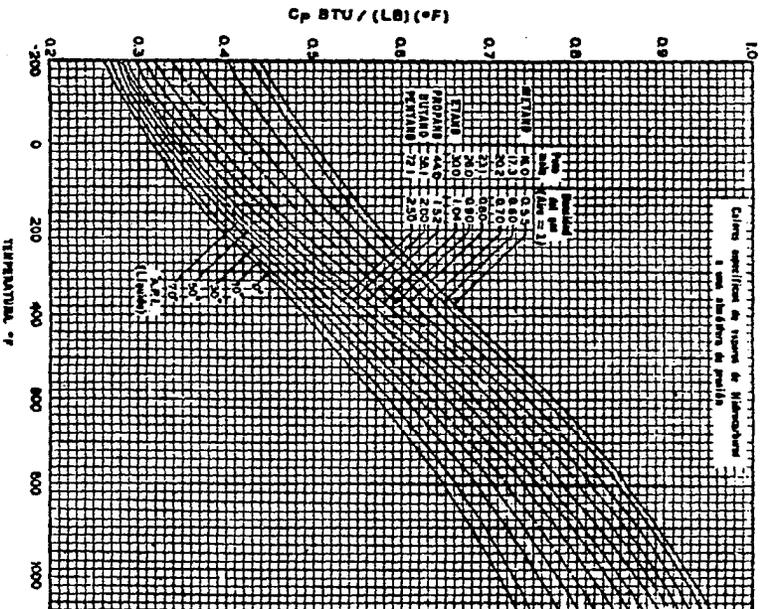


Fig. 5. Calores específicos de vapores de hidrocarburos a 1 atm. (Holcomb and Brown, Ind. Eng. Chem., 34, 595 (1942))

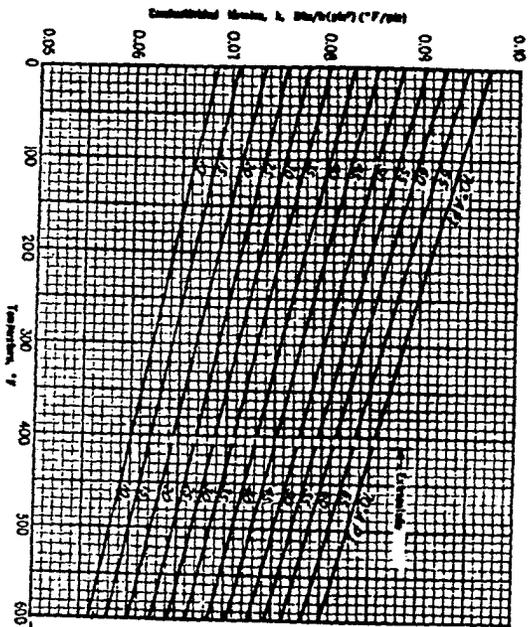
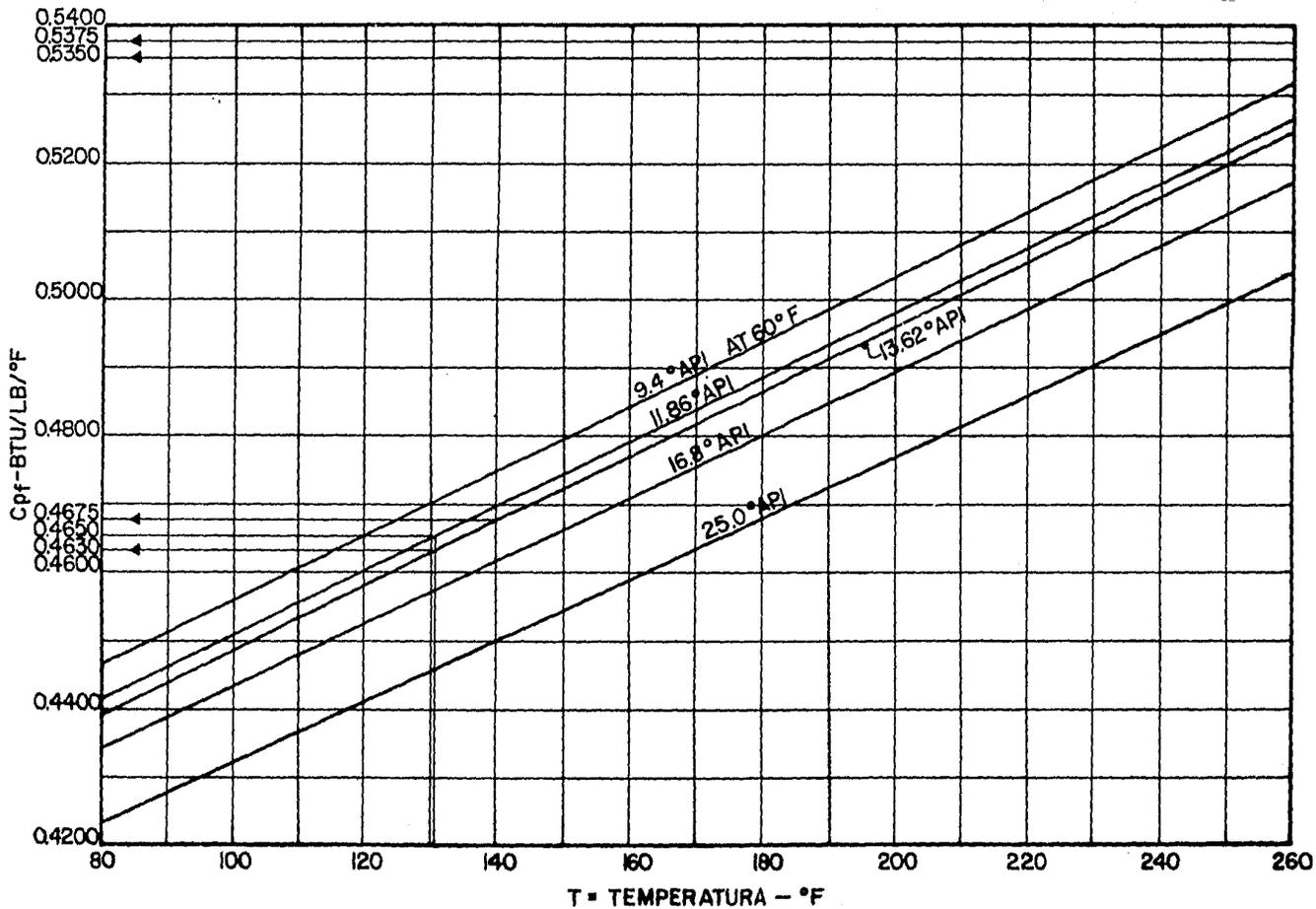


Fig. 1. Conductividades térmicas de hidrocarburos líquidos. (Adaptado del Natl. Bur. Standards Misc. Pub. 97)



CALOR ESPECIFICO INSTANTANEO DE COMBUSTOLEO A 1 ATMOSFERA

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

- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Donald Q. Kern.

12a. Impresion, 1978

Editorial C.E.C.S.A.

- TRANSMISION DE CALOR

William H. Mc Adams.

3a. Edición, 1978

Editorial Mc. Graw-Hill

- TERMODINAMICA

Virgil Moring Fairies

2a Edición, 1982

Editorial U.T.E.H.A.

-INGENIERIA TERMODINAMICA

Francisco F. Huang.

12a. Edición, 1982

- MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS

Claudio Mataix.

2a. Edición, 1982

Editorial Harla

- FLOW FLUIDS THOROUGH VALVES, FITTINGS AND

PIPE Crane Co.

- **EVALUACION ECONOMICA**

José I López Léautaud

1a. Edición, 1975

Editorial Mc. Graw-Hill

- **TECNICAS DE ANALISIS ECONOMICO PARA ADMINISTRADORES
E INGENIEROS**

John R. Canada

3a. Impresión, 1979

Editorial Diana

- **MANUAL DEL INGENIERO MECANICO**

Lionel S. Marks y Theodore Baumeister

Impreso en México, 1978

- **SELECCION DISEÑO E INSTALACION DE AISLANTES
TERMICOS Y REFRACTARIOS**

Ricardo Vivas Arrollo

Revisión 1, 1985

Instituto Mexicano del Petróleo

- **REVISTA-PETROLEOS MEXICANOS**

Subdirección Comercial

Gerencia de Marina

Flota Petrolera (1985)

- SELECCION DEL ESPESOR OPTIMO DE AISLAMIENTO TERMICO
PARA EQUIPOS DE PROCESO

Volumen XI, No.3

Julio, 1979

Instituto Mexicano del Petroleo

- ESPECIALES CONSIDERACIONES AL CRUDO VISCOSO

Leo V. Legg

Volumen 38, No.6

Junio, 1980

Petroleo Internacional.