



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“DISEÑO DE UN OLEODUCTO SECUNDARIO DESDE UN CAMPO

PETROLERO HASTA LA ESTACION DE RECOLECCION Y

BOMBEO”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEOS

Presentada por:

Keneeth Emiro Mejía Balseca

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 1986

AGRADECIMIENTO

A mis padres:

A mis padres GUSTAVO E. MEJIA MARQUEZ y
MARIA BALSECA DE MEJIA, a mis docentes, al Ing.
RICARDO GALLEGOS por dirigir este trabajo de
graduación.

DEDICATORIA

A mis padres:

Sres. GUSTAVO E. MEJIA MARQUEZ y
MARIA BALSECA DE MEJIA, por todo el
esfuerzo y dedicación brindado a sus hijos
por el camino de la incesante superación.

A mis hermanos

LUCRECIA

CARLOTA

GUSTAVO

JACK

FELIPE

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Daniel Tapia F.

DECANO FACULTAD FICT

Ing. Ricardo Gallegos O.

DIRECTOR DE TESIS.

Ing. Gabriel Colmont M.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. José Cabezas P.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas Expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, El patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

KENEETH E. MEJIA BALSECA.

RESUMEN

El presente trabajo pone en consideración un procedimiento de cálculo para la obtención del diámetro óptimo de la tubería. La condición aceptada es que el fluido se considere incompresible y fluye a temperatura constante.

El caudal es un valor que se asume conocido y se calculan en su orden el Número de Reynolds, velocidad de flujo, factor de fricción, caída de presión por unidad de longitud, la potencia requerida y una aproximación al costo unitario por barril de petróleo crudo transportado.

Se bosquejó una ruta única por las limitaciones económicas propias del trabajo, En la zona cercana a la población de Pavón se colocará la estación inicial de bombeo y la final en las cercanías de la población La Libertad, las otras poblaciones de referencia son: Chone, Portoviejo, Jipijapa, Puerto López entre las principales, se anotan las coordenadas de las demás posiciones escogidas. No se consideran estudios de Impacto Ambiental, financieros y demás relacionados por no ser objeto de este trabajo.

Finalmente se realiza el análisis y discusión de resultados obtenidos y se define un valor de diámetro económico bajo las condiciones que implica la magnitud de un trabajo de estas características.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE GRADUACION	iv
DECLARACION EXPRESA	v
RESUMEN	vi
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE ANEXOS	xii
INDICE DE TABLAS	xv
INDICE DE MAPAS	xvi
ABREVIATURAS	xvii
INTRODUCCION	xx
CAPITULO I	
CONSIDERACIONES TEORICAS	1
1.1 La hidraulica	1
1.2 Flujo de fluidos	2
1.2.1 Fluido.	2
1.2.2 Peso específico	2

1.2.3	Densidad Específica o Absoluta.....	3
1.2.4	Densidad Relativa.	3
1.2.5	Volumen específico.	3
1.2.6	Presión.	4
1.2.7	Regímenes de Corriente.	5
1.3	Viscosidad	8
1.3.1	Viscosidad Dinámica	8
1.3.2	Viscosidad Cinemática.	9
1.4	Bombeo de fluido.....	9
1.4.1	Requerimientos para la determinación de un sistema de bombeo más económico.	10
1.5	Cálculo del cabezal de un sistema.....	11
1.5.1	Cabezal o Carga.	11
1.5.2	Cabezal Estático.	12
1.5.3	Cabezal Estático de Succión.....	12
1.5.4	Altura de Succión.	12
1.5.5	Cabezal de Succión.	12
1.5.6	Cabezal de Descarga.....	12
1.5.7	Cabezal Total	13

1.5.8	Cabezal Neto Positivo de Succión.	14
1.5.9	Cálculo del Cabezal Neto Positivo de Succión.....	15
1.6	Resistencias al transportar un liquido.	15
1.6.1	Cabezal de Velocidad o de Energía Cinética.	15
1.6.2	Cabezal originado por cambios bruscos de área.	16
1.6.3	Cabezal de Entrada.....	16
1.6.4	Cabezal por Fricción.	16
1.6.5	Cabezal por Resistencias Varias.....	16
1.7	Máquinas hidráulicas	16
1.7.1	Bombas de Desplazamiento Positivo.....	17
1.7.2	Bombas de Embolo o Reciprocantes.	17
1.7.3	Clasificación de las bombas de émbolo.	17
1.7.4	Algunas Discusiones Alrededor de las Bombas Reciprocantes.	19
1.7.5	Bombas Centrífugas.....	23
1.7.6	Clasificación de las Bombas Centrífugas.	24
1.7.7	Algunas Discusiones Alrededor de las Bombas Centrífugas.....	25
1.8	Pérdidas por fricción	29
1.8.1	Principios de las Pérdidas por Fricción.	29
1.8.2	Considerando las dimensiones del sistema de tuberías.	32

1.8.3	Flujo de Fluidos en Tuberías.....	33
1.8.4	Gradiente Hidráulico.....	33
1.8.5	Cálculos de Caída de Presión para líquidos.....	38
1.8.6	Distancia Entre Estaciones.....	38
1.8.7	Potencia de bombeo.	39

CAPITULO II

2.	Selección de la ruta.	40
2.1	Descripción breve de la ruta.....	41
2.2	Cálculos del diseño.....	50
2.2.1	Procedimiento del Cálculo.....	50
2.2.2	Datos de Tubería y Costos.....	51
2.2.3	Datos del Programa.	52
2.2.4	Ecuaciones que se utilizan.....	52
2.2.5	Diagrama de flujo del programa	54
2.2.6	Diagrama de la subrutina	55

CAPITULO III

3.1	Bases para los cálculos de los costos.	57
3.2	Cálculo del costo por barril transportado.	60
3.3	Presentación de resultados	61

CAPITULO IV

Discusión de resultados	62
Conclusiones	64
Recomendaciones	67
Bibliografía	81

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	69
Línea de gradiente hidráulico de flujo, para sistema de bombeo en tubería 24 pulgadas nominal y rugosidad constante, desde los puntos la mancilla y estación 180 en cantón la Libertad	
ANEXO 2	70
Curva del sistema para una tubería de 24 pulgadas o curva del sistema para vencer las perdidas por fricción considerando varios caudales	
ANEXO 3	72
Calculos para diseño de oleoducto secundario polito 1	
ANEXO 4	74
Calculo del numero de reynolds y el factor de friccion utilizando: weisbach y hagen-poiseuille para flujo laminar o newton mejorado para resolver la ecuacion de colebrook - white para flujo turbulento	
ANEXO 5	76
Curvas de tres sistemas de tuberías para diámetros de 18, 20 y 24 pulgadas para relacionar incrementos en cabezales y costos por bombeo.	

INDICE DE FIGURAS

Diagrama de presiones (1).....	5
Esquema de flujo laminar (2)	7
Esquema de flujo turbulento (3).....	8
Esquema de viscosidad en un fluido laminar (4).....	9
Esquema de cabezal total con fuente bajo la bomba (5)	13
Esquema de cabezal total con fuente sobre la bomba (6)	14
Esquema de la succión y descarga en bomba de embolo (7a,b).....	18
Gráficos típicos para bombas de émbolos (8).....	20
Campo de aplicación de las bombas de embolo, centrifugas y axiales (9)..	21
Esquema de amortiguador de presiones (10)	22
Esquema del sistema difusor, impulsor, caja espiral (11).....	23
Instalación de una bomba centrifuga (12).....	25
Nomenclatura sobre rodets (13)	26
Esquema de rodets en serie (14a).....	27
Esquema de rodets en serie (14b).....	27
Rodete abierto de doble aspiración (15)	28
Rodete semi abierto de simple aspiración (16).....	28

Rodete cerrado de doble aspiración (17)	28
Rodete cerrado de simple aspiración (18)	29
Tubería ubicada sobre la línea del gradiente hidráulico (19)	34
Incremento de cabezal (20)	35
Incremento de diámetro (21).....	35
Tuberías en serie (22).....	36
Tuberías parcialmente en paralelo (23)	36
Cabezal de descarga total apropiado (24)	37
Bombas en serie a lo largo de una ruta (25)	37

INDICE DE TABLAS

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.	43
TABLA DE VALORES APROXIMADOS	57
Variación de cabezales de bombeo a diferentes diámetros y caudales y su incidencia en los costos.	59
Calculo del costo total.....	60

INDICE DE MAPAS

MAPA 1.....	79
MAPA 2.....	80

ABREVIATURAS

SIMBOLOS	DESCRIPCION	UNIDADES
A	Área transversal de Tubería	pie ² o m ²
B	Caudal	bls/hr
Di	Diámetro Interior	pulgadas
f	Fuerza	libras
fr	Factor de fricción	Adimensional
g	Aceleración de la Gravedad	32.2 pies/s ² ó 9.81 metro/s ²
ge	Gravedad Específica	Adimensional
H	Cabezal	pies o metros
Hd	Cabezal de Descarga	pies o metros
He	Cabezal Estático	pies o metros
Hf	Cabezal de fricción en la Ecuación de Darcy-Weisbach	pies o metros
Hfd	Cabezal de fricción de Descarga	pies o metros
Hes	Cabezal Estático de Succión	pies o metros
Hfs	Cabezal de Fricción de Succión	pies o metros

Hls	Altura o Cabezal de Succión	pies o metros
HP	Potencia	hp o Kwatios
Hba	Cabezal de Presión Absoluto	pies o metros
Hs	Cabezal de Succión	pies o metros
Ht	Cabezal Total	pies o metros
Hv	Cabezal de Velocidad	pies o metros
Hvp	Cabezal de vapor de presión	pies o metros
ΣH_m	Cabezal de pérdidas menores	pies o metros
L	Distancia entre salida y llegada de la tubería	millas o km
Nv	eficiencia volumétrica	adimensional
P	Presión	psi
V	Volumen	pie ³ /s
Re	Número de Reynolds	adimensional
t	Espesor de tubería	pulgadas
v	Velocidad en un punto determinado	pie/s
z	Altura	pies o metros
Δp	Caída de presiones	psi
E	Rugosidad Absoluta	pies
ξ	Eficiencia del Motor	adimensional
ρ	Densidad Absoluta	libra/pie ³

ρ_r	Densidad Relativa	adimensional
ω	Volumen Específico	pie ³ /libra
μ	Viscosidad Absoluta	centipoises
ν	Viscosidad Cinemática	centistokes
ε	Rugosidad absoluta	adimensional
γ	Peso específico	kN/m ³ o lb/ft ³

INTRODUCCION

El hecho de abordar un tema de tanto interés, involucra presentar información ampliada que sirva de referencia a efecto de tener una idea general de lo que significa diseñar un sistema de bombeo en la fase conceptual, lo cual implica seleccionar la ruta propicia, tubería de diámetro apropiado u óptimo, determinar caudales o flujo a determinada presión y temperatura, número de estaciones de bombeo y potencia requerida.

La ruta definida alcanzó una longitud de 285,5 km aproximadamente, desde La Población de Pavón hasta las cercanías de la Refinería La Libertad, la ruta corre cercana a la carretera que une poblaciones entre estos dos puntos. La información de ubicación se obtuvo de las cartas cartográficas IGM y son presentadas en el Capítulo II, no se consideró información de análisis de suelos.

Para los cálculos se utilizan formulas de caídas de presión, como Darcy-Weisbach y para el cálculo del factor de fricción a Colebrook-White. Se asumieron varios caudales que simulaban la producción futura de un campo petrolero denominado para el caso Polito 1, los valores fueron los siguientes: 50,000 barriles, 60,000 barriles, 70,000 barriles, 80,000 barriles y 100,000 barriles. Con la gráfica del gradiente hidráulico se pudo constatar que no existen problemas con las alturas de la zona montañosa de Chongón Colonche.

CAPITULO I

CONSIDERACIONES TEORICAS

1.1 LA HIDRAULICA.

La hidráulica está relacionada con el comportamiento de los líquidos en reposo y en movimiento, Un líquido posee un volumen definido y es prácticamente incompresible, en contraste con un gas que puede comprimirse o expandirse, dependiendo de los cambios de presión y temperatura.

Los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen aunque adoptan la forma del recipiente que lo contiene, sin embargo en procesos con cambios de temperatura la densidad de los líquidos variará, dichos cambios deben ser considerados en los cálculos respectivos.

La presión actuando en cualquier punto de un líquido en reposo es equivalente a la suma de la presión ejercida por la atmosfera del lugar y aquella ejercida por la columna del líquido en un punto de referencia. En un mismo plano referencial la presión será igual en todos sus puntos.

Toda presión ejercida por un líquido en un punto, puede ser relacionada por aquella causada por una columna de líquido cuyo peso actúa sobre el punto en mención, esta columna real o imaginaria, es llamada cabezal, presión de cabezal o presión estática, y es usualmente expresada en pies o metros.

El movimiento de los líquidos puede darse por efecto de la gravedad, medios mecánicos o usando diversos tipos de bombas, el movimiento de petróleo de un punto a otro dependerá de sus características físico-químicas, las pérdidas de presión, distancia, diámetro interno y velocidad.

1.2 FLUJO DE FLUIDOS.

1.2.1 Fluido.

Definimos como fluido a aquella cantidad de masa que por poseer poca cohesión inter molecular no tiene forma propia, adoptando la del recipiente que lo contiene.

1.2.2 Peso específico.

Es la relación entre el peso de una sustancia y su volumen a una temperatura específica.

$$\omega = \text{Peso/volumen}$$

1.2.3 Densidad Específica o Absoluta.

Es la relación entre la masa de una sustancia y su volumen a una temperatura específica.

$$P = \text{Masa/volumen}$$

1.2.4 Densidad Relativa.

Se define como la relación entre el peso o masa de una sustancia y el peso o masa de un volumen igual de agua destilada a 4° Celcius. Podemos decir que es la relación entre el peso específico o densidad de una sustancia para el peso específico o densidad del agua. Esta relación es adimensional.

$$p_r = \text{Densidad de una sustancia/densidad del agua}$$

1.2.5 Volumen específico.

Es el recíproco del peso específico

$$u = 1/\omega$$

1.2.6 Presión.

Es la relación de la fuerza ejercida por un fluido actuando sobre un área determinada.

$$P = f/A$$

i. Presiones absolutas y relativas

Las presiones absolutas, serán aquellas que se encuentran sobre el cero absoluta cuyas lecturas podrán tener valores menores o mayores a la presión atmosférica.

Las presiones manométricas pueden ser mayores a la presión atmosférica del lugar. Un vacío es una presión manométrica negativa en trabajos de campo.

ii. Presión atmosférica

Es ejercida por la atmosfera en cada lugar del planeta y varía con la altura del lugar, el nivel de referencia es el nivel del mar de la zona.

iii. Lectura barométrica

Es la altura alcanzada por la columna de un líquido en un tubo al vacío hasta el punto en que la presión de vapor del mismo balancea el ingreso y lo detiene. Esta altura es conocida como presión atmosférica del lugar.

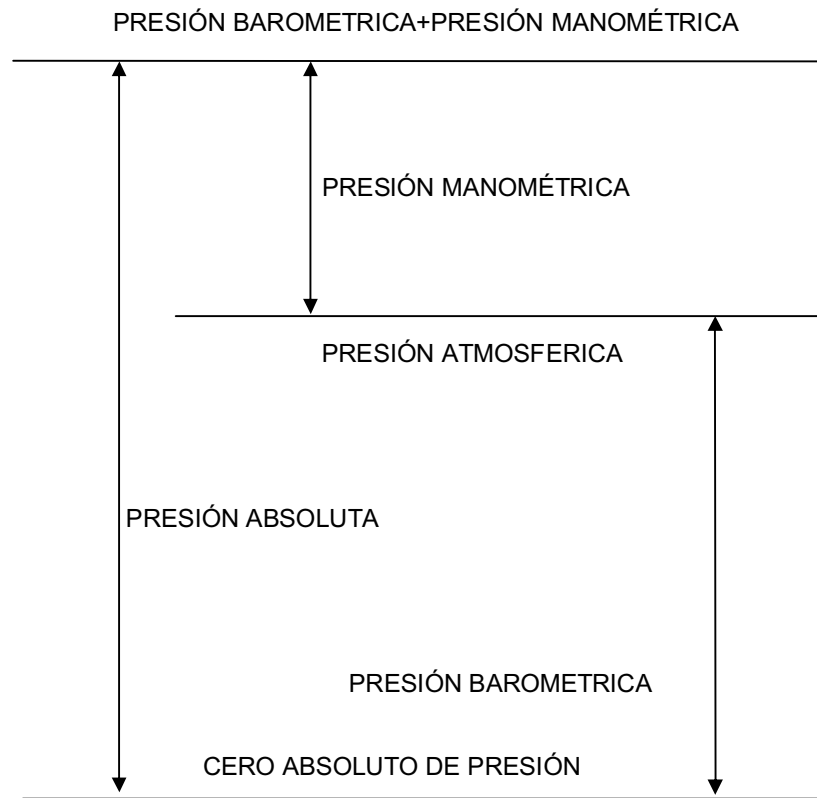


Diagrama de presiones (1)

1.2.7 Regímenes de Corriente.

El estudio del movimiento de los fluidos en el interior de las tuberías que es lo que nos involucra es de importancia particularmente en la técnica de proyectos de diseños de Oleoductos.

i. Corriente Permanente

Ocurre cuando el flujo del fluido no varía la velocidad y la presión se mantiene constante.

ii. Corriente Uniforme

Ocurre en una sección recta de tubería, si la velocidad es constante en magnitud y dirección.

iii. Caudal

Se lo define como la relación de una unidad de volumen por el tiempo que tarda en transitar una sección de tubería.

$$B = \text{Volumen/tiempo}$$

iv. Número de Reynolds

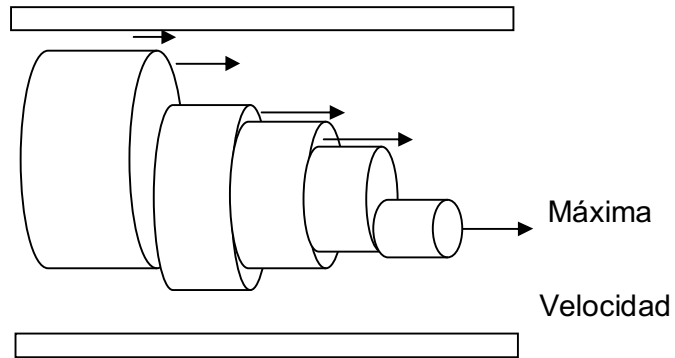
Es una relación adimensional entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas de un fluido.

$$Re = \rho v D_i / \mu$$

Régimen de Corriente Laminar

Cuando el comportamiento del fluido en la tubería es similar al desplazamiento de cilindros coaxiales, donde las velocidades decrecen desde el centro al borde del tubo donde se tiene velocidad nula.

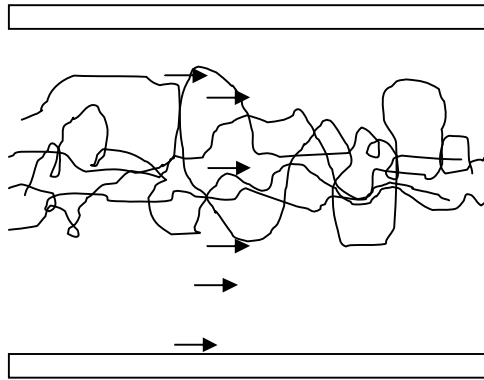
Zona de velocidad igual a cero



Esquema de flujo laminar (2)

v. Régimen de Corriente Turbulento

Las partículas del fluido poseen trayectorias erráticas al interior de la tubería, se entrecruzan y forman remolinos periódicos con movimientos bastante caóticos, existiendo una transferencia de momento entre las moléculas debido a mezclas violentas, generando mayores pérdidas de permite definir qué tipo de régimen tenemos. Así para valores menores a 2000 Re, tendremos flujo laminar, a mayores de 3000 Re, el flujo será de comportamiento turbulento. Entre 2000 Re y 4000 Re esta zona es conocida como de comportamiento impredecible para el fluido.



Esquema de flujo turbulento (3)

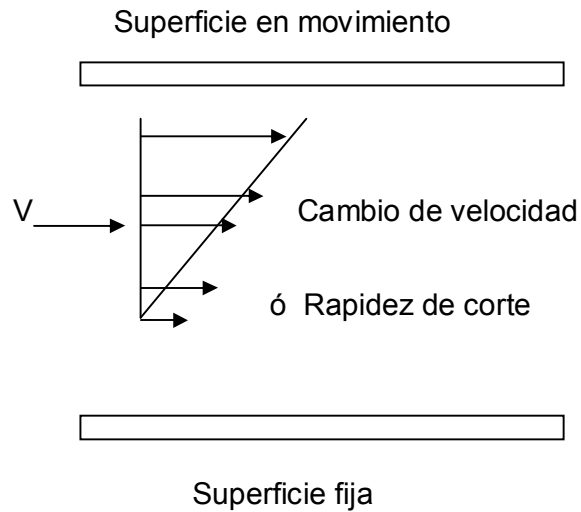
1.3 VISCOSIDAD

1.3.1 Viscosidad Dinámica

Un líquido puede soportar esfuerzos normales de compresión más no de tracción, al ser sometidos a esfuerzos cortantes o tangenciales se deforman, donde la tensión de corte puede definirse como la fuerza necesaria para deslizar una capa área unitaria de una sustancia sobre otra capa de la misma sustancia.

Estos esfuerzos por unidad de área generan un gradiente de velocidad y un factor denominado viscosidad absoluta. La viscosidad genera una resistencia a la deformación o superficie impidiendo el desplazamiento de las capas del fluido según sea laminar o turbulento.

$$\mu = \text{Tensión de corte/gradiente de velocidad}$$



Esquema de viscosidad en un fluido laminar (4)

1.3.2 Viscosidad Cinemática.

En la práctica de campo muchos cálculos involucran la relación entre la viscosidad dinámica con la densidad. Convencionalmente se acepta la relación.

$$\nu = \mu / \rho$$

1.4 BOMBEO DE FLUIDO.

Una máquina diseñada para utilizar energía con el fin de transportar o elevar un líquido recibe el nombre de bomba. Esto equivale a transmitir energía al líquido sin que se altere o afecte sensiblemente su peso específico cuando pase a través de la máquina.

Bombear es desplazar un líquido contra la fuerza de la gravedad en una tubería o proveer suficiente cabezal para vencer una serie de fricciones que causan pérdidas de presión en un sistema de transporte de hidrocarburos.

1.4.1 Requerimientos para la determinación de un sistema de bombeo más económico.

El objetivo cuando se requiere bombear hidrocarburos es la discusión de los procedimientos, desarrollo de las características, selección, instalación y operación de los sistemas de bombeo, se deben presentar los requerimientos necesarios para la selección tales como:

- i. Capacidad de flujo, flujo máximo y mínimos requeridos por el proceso**
- ii. Propiedades físicas y químicas del fluido**
 - a. Gravedad específica
 - b. Temperatura de operación, máxima y mínima
 - c. Presión de vapor del fluido
 - d. Viscosidad
 - e. Tendencias a formar o no espumas
 - f. Presencia de otros elementos en solución
 - g. Contenidos de sólidos, tamaño, porcentaje en peso
 - h. Tendencias corrosivas o incrustantes

iii. Condiciones de succión y descarga.

Preparar información preliminar del sistema de bombeo, incluyendo presión de operación, elevaciones, diámetro de la tubería, longitud, válvulas y conexiones, presiones de succión y descarga para máxima y mínima carga.

iv. Condiciones de servicio y métodos para control de flujo continuo, intermitente o en espera.

Si la capacidad de bombeo es mayor a la requerida por el proceso, tubería de recirculación, válvulas de control o variadores de velocidad se utilizan para regular la potencia útil.

v. Cálculo de la presión diferencial, diagrama preliminar del cabezal del sistema, número de bombas, estaciones y potencia.

1.5 CALCULO DEL CABEZAL DE UN SISTEMA

1.5.1 Cabezal o Carga.

La altura de la columna de líquido actuando sobre un recipiente o en general toda presión ejercida que puede ser expresada como columna de líquido equivalente en unidades congruentes, una fórmula que nos permite expresar comúnmente utilizada es:

$$\text{Presión (psig)} = 0.433 (\text{gravedad específica}) (\text{altura del líquido}) \quad (\text{pies})$$

1.5.2 Cabezal Estático.

Es toda diferencia de nivel de líquido entre el lado de la succión y el de la descarga con respecto al eje impulsor de la bomba.

1.5.3 Cabezal Estático de Succión.

Es la diferencia de altura entre el nivel del líquido y el ojo impulsor de la bomba ubicado bajo la fuente.

1.5.4 Altura de Succión.

Es la diferencia de altura entre el nivel del líquido y el ojo impulsor de la bomba ubicado sobre la fuente. La presión de vapor del líquido debe ser considerada en los cálculos.

1.5.5 Cabezal de Succión.

Se obtiene restando al Cabezal Estático de Succión, la carga por fricción en la tubería de succión, pérdidas de entrada a la tubería y otros accesorios, en operación normal un manómetro ubicado cerca de la brida en la succión de la bomba muestra los valores requeridos para el control.

1.5.6 Cabezal de Descarga.

Equivale a la suma del cabezal estático en el lado de la descarga, la carga por pérdidas por fricción en tubería, accesorios, cabezal de velocidad entre

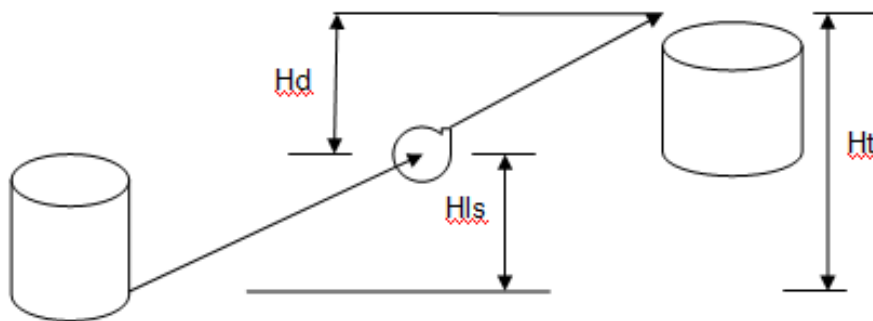
las más importantes, un manómetro ubicado cerca de la brida en la descarga de la bomba muestra los valores requeridos para el control.

1.5.7 Cabezal Total

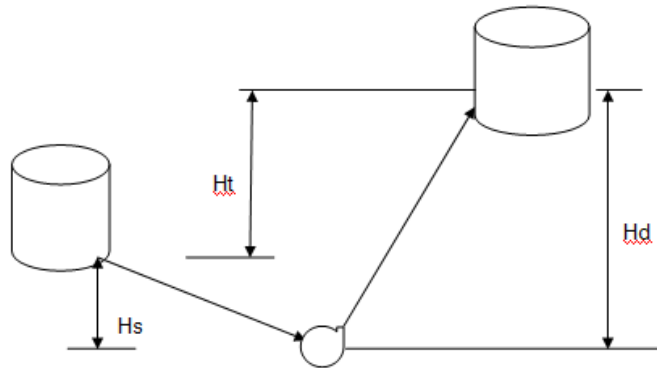
Es la diferencia algebraica del cabezal de descarga y el cabezal de succión y la suma cuando tenemos altura de succión.

$$H_t = H_d - H_s$$

$$H_t = H_d + H_l$$



Esquema de cabezal total con fuente bajo la bomba (5)



Esquema de cabezal total con fuente sobre la bomba (6)

1.5.8 Cabezal Neto Positivo de Succión.

Es aquel cabezal equivalente necesario para lograr que el fluido se mueva a desde la tubería de succión hacia el ojo impulsor de la bomba, en la industria en general se trabaja con dos tipos de cabezales neto positivo de Succión el Requerido y el Disponible.

i) Cabezal Neto Positivo de Succión Requerido CNPSR.

El valor lo solicita o determina el constructor del equipo, depende del diseño del impulsor de entrada, características del fluido a ser, caudal y el valor es propio de cada equipo de bombeo.

ii) Cabezal Neto Positivo Disponible.

Se calcula para el sistema en el que va a operar el equipo de bombeo y deberá ser mayor o igual al valor del requerido.

1.5.9 Cálculo del Cabezal Neto Positivo de Succión.

i) Para una fuente de suministro ubicada sobre el ojo impulsor de la bomba.

$$\text{CNPSDd} = H_{pa} + H_{es} - H_{fs} - H_{vp}$$

ii) Para una fuente de suministro ubicada bajo el ojo impulsor de la bomba.

$$\text{CNPSDd} = H_{pa} - H_{ls} - H_{fs} - H_{vp}$$

1.6 RESISTENCIAS AL TRANSPORTAR UN LIQUIDO.

En la operación de mover el líquido desde el tanque a la bomba y su descarga posterior hasta una nueva bomba o recipiente existen pérdidas por fricción, para la generación de los cálculos de los cabezales de succión y descargas, las cargas por fricción calculadas deben ser sumadas de tal forma que nos permitan bosquejar el cabezal total de trabajo útil del sistema.

1.6.1 Cabezal de Velocidad o de Energía Cinética.

Originado por el diferencial de presión en la tubería de succión ubicada entre el tanque y el ojo impulsor de la bomba, este cabezal cobra importancia cuando estamos desplazando grandes volúmenes de hidrocarburos.

$$H_v = v^2/2g$$

1.6.2 Cabezal originado por cambios bruscos de área.

Se obtienen multiplicando un coeficiente propio del diseño y construcción de fábrica por el cabezal de velocidad, se originan en reducciones, bridas, desvíos y ampliaciones principalmente.

1.6.3 Cabezal de Entrada.

Originado por las formas de los accesorios ubicados en el tanque o recipiente y que se unen a la tubería de succión.

1.6.4 Cabezal por Fricción.

Es la altura equivalente debido a las pérdidas de fricción en la tubería utilizada.

1.6.5 Cabezal por Resistencias Varias.

Se origina en válvulas de control, filtros, codos, en el lado de succión y descarga.

1.7 MAQUINAS HIDRAULICAS

Las bombas que utilizan como órgano de transmisión de energía el pistón se denominan de desplazamiento positivo, mientras que las que utilizan el rodete u impulsor centrifugas, se utilizan ampliamente en la industria petrolera para el desplazamiento de hidrocarburos.

1.7.1 Bombas de Desplazamiento Positivo.

El desplazamiento de un volumen específico o fijo se origina cada vez que ocurre una vuelta del rotor de la bomba.

Se clasifican en:

- a. Reciprocantes
 - De pistón o émbolo
 - De diafragma
- b. Rotativas
 - De tornillo
 - De engranes
 - De lóbulo
 - De cavidad progresiva
 - De paleta

1.7.2 Bombas de Embolo o Reciprocantes.

El desplazamiento de un volumen fijo se realiza en una cámara, son operadas con presiones altas, la velocidad es baja, pueden ser de tipo horizontal o vertical, la accesibilidad del émbolo permite realizar mantenimientos cuando existen desgastes.

1.7.3 Clasificación de las bombas de émbolo.

i) Según el número de émbolos

Simplex o de un cilindro

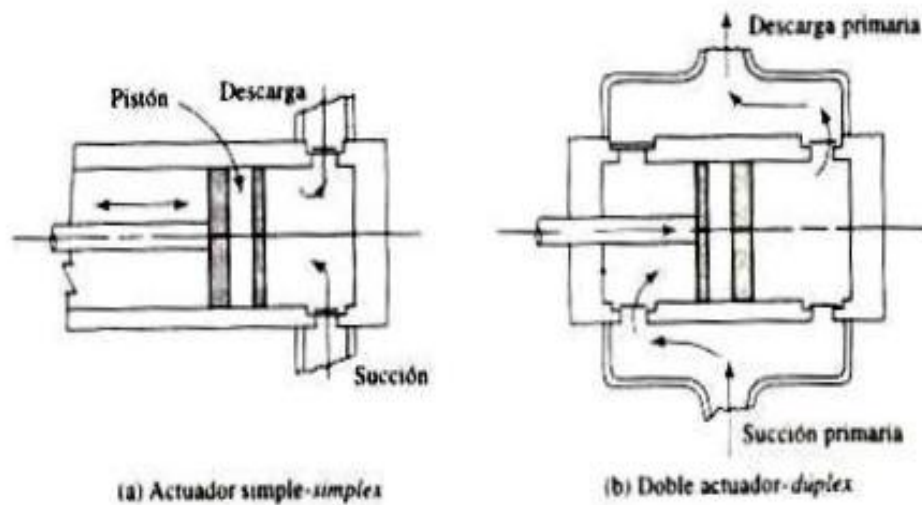
Duplex o de dos cilindros

Triplex o de tres cilindros

ii) Por la forma en que son impulsadas

a. De potencia, son alimentadas por un alimentador tipo biela

b. De vapor, utilizan un vástago común para mover el émbolo



Esquema de la succión y descarga en bomba de émbolo (7a,b)

1.7.4 Algunas Discusiones Alrededor de las Bombas Reciprocantes.

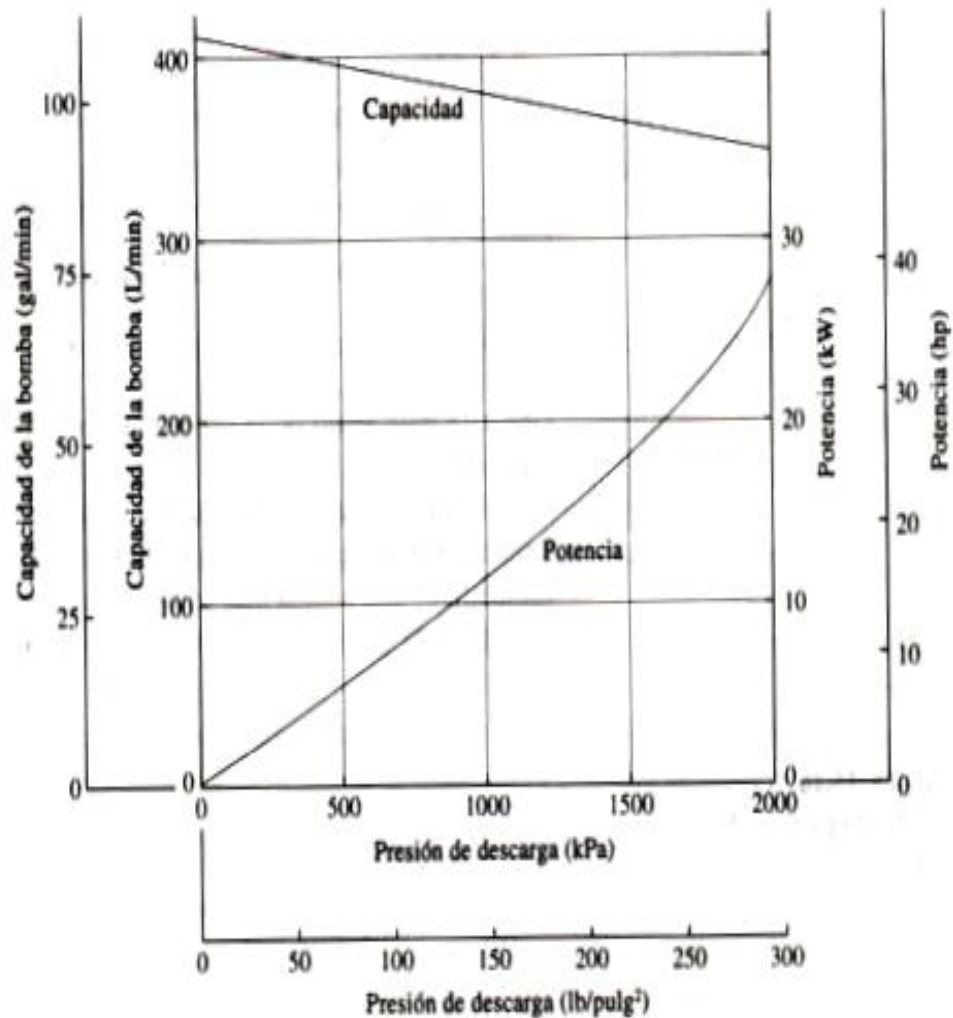
i) Capacidad.

Es el volumen entregado en una unidad de tiempo, es igual al desplazamiento menos las pérdidas. El desplazamiento depende del área transversal del émbolo, el tiempo, la carrera o distancia recorrida, vueltas por minuto del cigüeñal y el número de émbolos. Los retrasos en el cierre de la válvula de admisión o descarga originan las pérdidas, también ocurren por goteos entre el vástago del émbolo y la prensa estopas.

La rapidez con que se cierra una válvula de admisión origina una relación denominada eficiencia volumétrica o rendimiento que varía entre 0.94 y 0.98 y es la relación entre cantidad efectiva de fluido que pasa por la bomba y la cantidad teórica de fluido.

ii) Presión y Curvas de Rendimiento.

Para este tipo de bombas las presiones de succión son pequeñas por lo que la presión de descarga puede tomarse como la presión diferencial de la bomba.

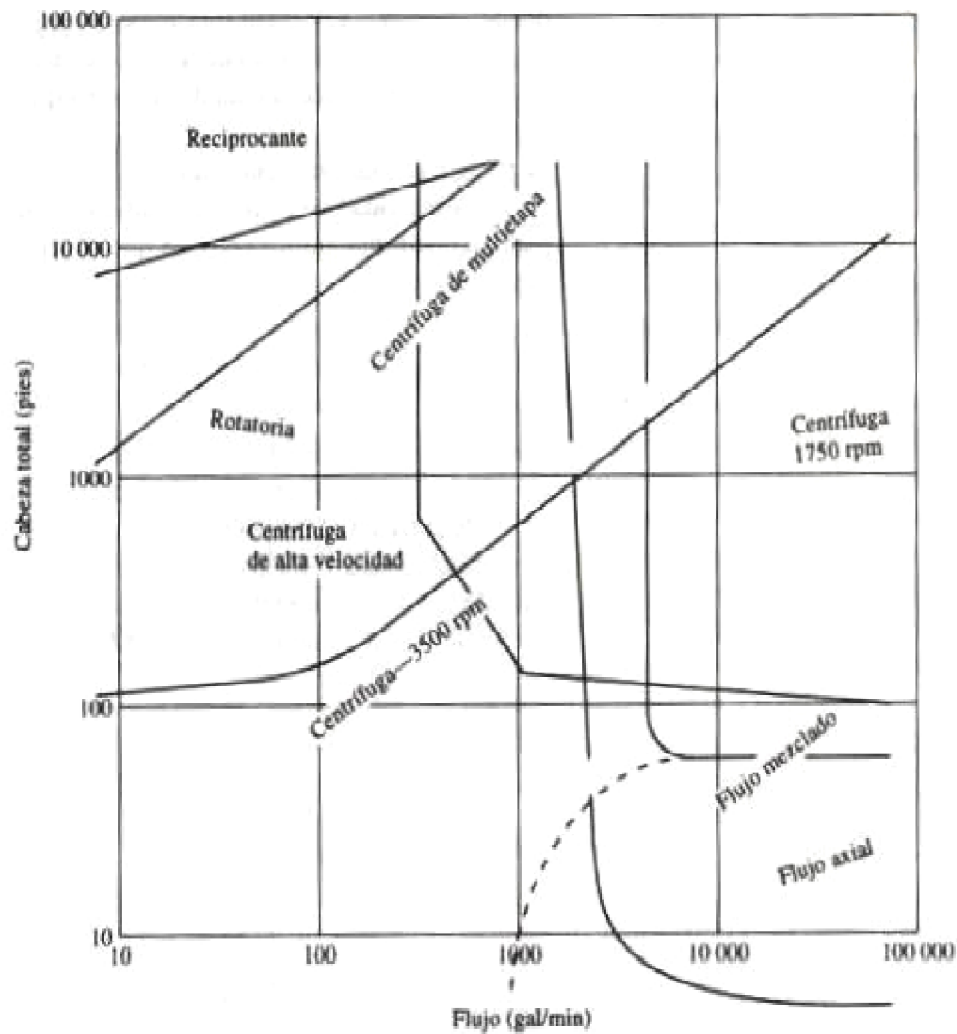


Gráficos típicos para bombas de émbolos (8)

iii) Potencia Requerida.

Para una bomba recíprocante la potencia se puede estimar de la misma manera que para las bombas centrífugas, la potencia desarrollada las convierte

en equipos de altas presiones y caudales medianos ideal para grandes distancias y volúmenes intermitentes.

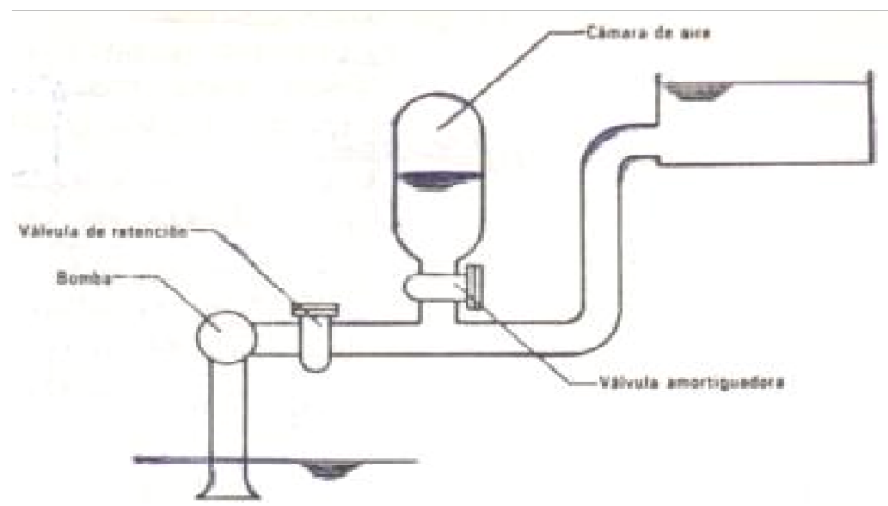


Campo de aplicación de las bombas de embolo, centrifugas y axiales (9).

iv) Pulsaciones.

Las pulsaciones son las características del rendimiento o potencia útil de las bombas reciprocantes, éstas se presentan tanto en las tuberías de succión como de la descarga, se origina como una aceleración cíclica de la masa líquida, incidiendo negativamente en el cabezal neto positivo de succión disponible cuyo valor se reduce, como requerimiento de diseño debe ser restado del CNPSd.

Si no existe suficiente aceleración para desplazar el líquido, la bomba experimentará el fenómeno denominado cavitación, originado pérdida de eficiencia volumétrica, daños en émbolos, válvulas y retenedores. Colocar un amortiguador de pulsaciones en el lado de la succión y la descarga absorberá las variaciones cíclicas del flujo.



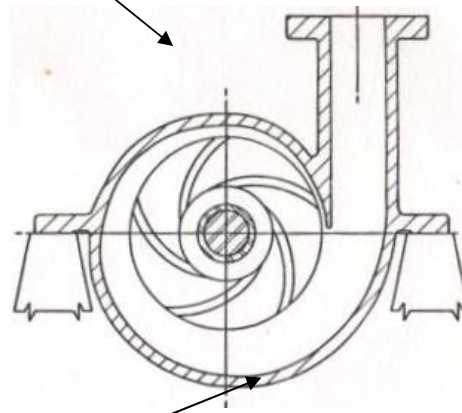
Esquema de amortiguador de presiones (10)

1.7.5 Bombas Centrífugas.

Llamadas también rotodinámicas, poseen un órgano trasmisor de energía denominado rodete, cuyo movimiento rotativo transmite energía de movimiento al fluido en el interior de una carcasa. El fluido ingresa por la parte central y circula radialmente hacia afuera, siendo descargado por el rodete a la carcasa incrementando su energía de presión en el sistema difusor.

Rodete o impulsor de la bomba

Salida del fluido



Carcasa

Esquema del sistema difusor, impulsor, caja espiral (11).

1.7.6 Clasificación de las Bombas Centrífugas.

i) Por la trayectoria del fluido.

- a. De flujo centrífugo o radial
- b. De flujo mixto
- c. De flujo axial

ii) Por el número de rodetes

- a. De un sola etapa
- b. De varias etapas

iii) Según la posición del eje

- a. Horizontal
- b. Vertical
- c. Inclinas

iv) De acuerdo al tipo de carcasa

- a. De caja espiral
- b. De carcasa mixta
- c. De corona directriz

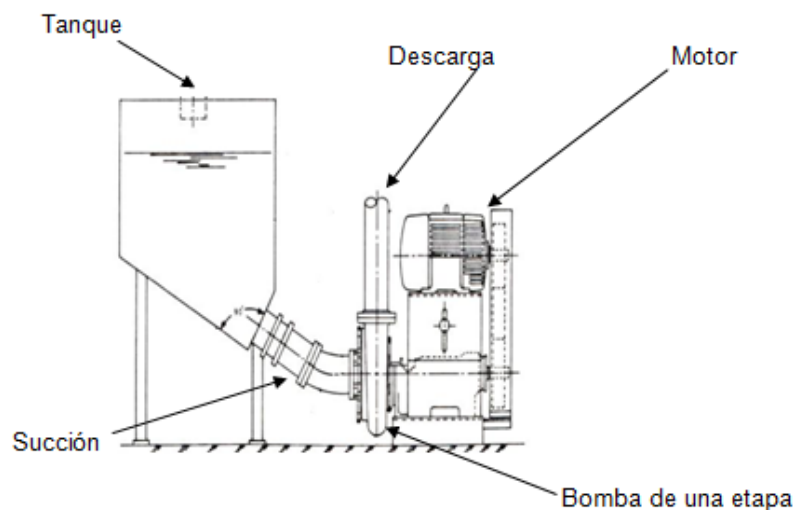
v) Según el tipo de succión

- a. De succión sencilla
- b. De succión doble

1.7.7 Algunas Discusiones Alrededor de las Bombas Centrífugas.

i) Funcionamiento de la bomba.

Durante su operación normal y teniendo a un tanque atmosférico como fuente de alimentación, la presión en el lado de la succión que se ejerce sobre la bomba, es la presión atmosférica y la diferencia de nivel entre la altura del líquido y el ojo impulsor. Siempre debe garantizarse el completo llenado de las tuberías de la succión con fluido para evitar cavitación y pérdida de la capacidad de bombeo.

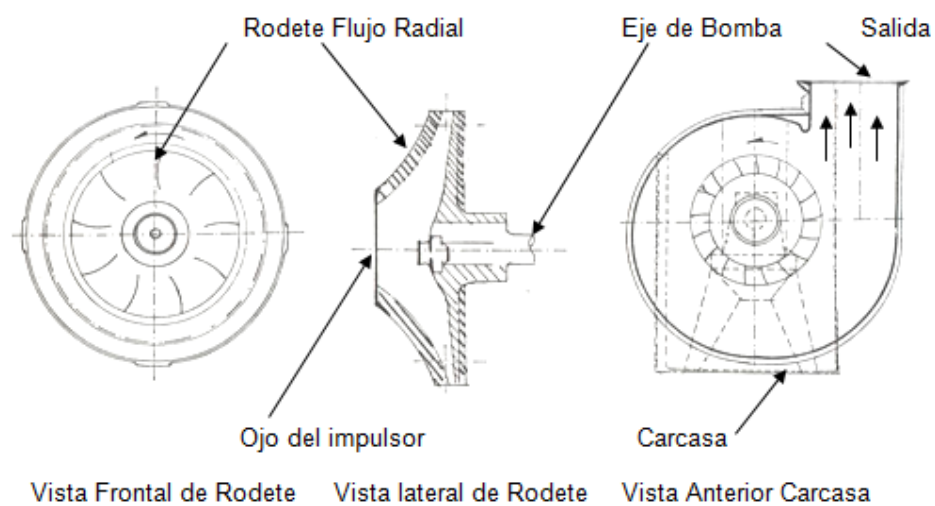


Instalación de una bomba centrífuga (12).

ii) Rodete o álabe.

Es el mecanismo mediante el cual se incrementa energía cinética, el fluido ingresa por el centro del álabe y se impulsa hacia el exterior por las paletas,

al salir del impulsor pasa por la carcasa donde se frena gradualmente, convirtiendo la energía cinética en energía de posición.

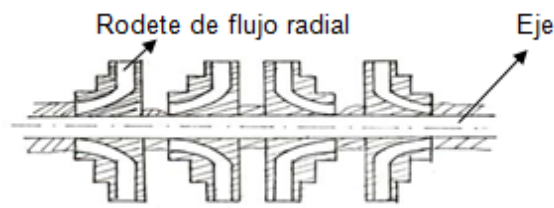


Nomenclatura sobre rodetes (13)

iii) Esquema de Rodetes en Serie

Cuando la operación se realiza con bombas múltiple etapas, y el fluido va de un rodete al otro. Los rodetes se colocan:

- a. En serie y alternadamente opuestos uno al otro a efecto de eliminar de a dos en dos el empuje paralelo al eje. El empuje total es generado por la gravedad, el diferencial de presión en la etapa y por la fuerza de impulsión cuando ingresa el fluido.



Esquema de rodetes en serie (14a)

- b. En serie uno al lado del otro donde los empujes axiales de cada rodete se suman originando desbalances.



Esquema de rodetes en serie (14b)

iv) Clasificaciones de los Rodetes de acuerdo a la sujeción al eje.

- a. Abierto de doble aspiración.



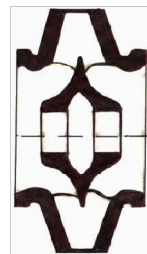
Rodete abierto de doble aspiración (15)

- b. Semi abierto de simple aspiración.



Rodete semi abierto de simple aspiración (16)

- c. Cerrado de doble aspiración



Rodete cerrado de doble aspiración (17)

- d. Cerrado de simple aspiración



Rodete cerrado de simple aspiración (18)

1.8 PERDIDAS POR FRICCION

1.8.1 Principios de las Pérdidas por Fricción.

Cuando se bombea hidrocarburos se originan pérdidas de presión en la tubería, el diferencial es el resultado de las pérdidas por fricción. Las pérdidas se dan ya sea que se bombee con flujo laminar o turbulento.

La Ecuación de Darcy-Weisbach proporciona un valor aproximado del cabezal de pérdida y es válida para flujo laminar o turbulento.

$$H_f = f v^2 L / 2gD_i$$

a. Flujo Laminar

Cuando el flujo es de tipo laminar va a depender únicamente de las fuerzas viscosas, la energía disminuye por la acción de vencer a las fuerzas de fricción derivadas de la tensión de corte. Las pérdidas de fricción debido a la viscosidad entre las partículas del fluido determinan la magnitud de las

perdidas con flujo laminar. La ecuación de Hagen-Poiseuille permite calcular la caída de presión en tuberías, sin depender de la rugosidad, esta ecuación es válida para valores menores a 2000 Re.

$$H_f = 32\mu LV/\rho g D_i^2$$

Si se iguala con la de Darcy-Weisbach que también funciona para flujo laminar se puede calcular el factor de fricción, que depende únicamente del número de Reynolds.

$$f_r = 64/Re$$

b. Flujo Turbulento

En sistemas de bombeo con flujo turbulento, es decir con valores mayores a 3000 Re, la pérdida de energía por fricción dependerá también de la rugosidad de la tubería. La ecuación de Colebrook-White que es implícita en Reynolds nos permite calcular el factor de fricción.

$$1/f_r^{1/2} = -2\log(\epsilon/3.7D_i + 2.51/Re f_r^{1/2})$$

Esta ecuación puede analizarse en tres rangos:

1. Si la relación $\epsilon/3.7D_i$ es demasiado pequeña comparada $2.51/Re f_r^{1/2}$, entonces la rugosidad es prácticamente nula, las propiedades del fluido

influyen sobre el flujo para el intervalos de valores del número de Reynolds, tuberías lisas o vidrio generan este tipo de situaciones.

2. Si el valor de $2.51/Re\sqrt{f_r}$ tiende a cero debido a valores muy altos de Reynolds, la función dependerá del valor de la rugosidad relativa ϵ/D_i , los valores obtenidos de esta forma caen en una región denominada de completa turbulencia, consecuentemente el factor de fricción f_r se calcula por:

$$1/f_r^{1/2} = -2\log(\epsilon/D_i) + 1.14$$

Denominada ecuación de Kartman-Prandlt.

3. La tercera categoría implica valores de f_r entre las dos zonas antes definidas, entre las tuberías lisas y completa turbulencia. Moody desarrolló sus curvas a partir de la ecuación de Colebrook-White y en ellas se distingue una tendencia rectilínea horizontal, aquí encontraremos a la mayoría de las tuberías comerciales, que generan flujos que dependen de la rugosidad relativa y de las fuerzas viscosas. Esta zona se la conoce como zona de transición.

Para valores comprendidos entre 2000 Re y 3000 Re, no se puede determinar el valor de f_r , ya que el flujo de los fluidos es inestable, por tanto no es factible graficar este comportamiento.

1.8.2 Considerando las dimensiones del sistema de tuberías.

Las pérdidas ocasionadas por codos, tees, reducciones, válvulas, cambios de dirección, ensanchamientos, reducciones, filtros, medidores, soldaduras pueden ser tomadas en consideración. Existen dos métodos para calcular la resistencia al flujo en los accesorios.

a. Coeficiente de resistencia.

Considera que el cabezal de pérdidas originadas por los accesorios se obtiene multiplicando la constante propia de cada elemento o coeficiente de resistencia por la velocidad promedio de flujo.

b. Longitud equivalente.

Asume que las pérdidas de energía por fricción de un elemento son iguales a las originadas en una longitud equivalente de diámetro nominal igual al de la tubería. La proporción de longitud equivalente L_e/D es propia de cada elemento. El factor de fricción de la tubería a la cual está acoplado el elemento se encuentra en la zona de completa turbulencia.

Para sistemas de tuberías de distancias cortas, las pérdidas por fricción en los accesorios es un factor que controla el flujo de fluidos.

1.8.3 Flujo de Fluidos en Tuberías.

Las principales fuerzas que afectan el flujo de los fluidos en tuberías son: las fuerzas viscosas, la gravitatoria, diferencias de presiones. En un sistema es importante definir la ecuación general de la energía, definiendo el punto inicial del movimiento hasta el punto final donde se receptorá el fluido. Todas las energías que se añadan deben ser sumadas, igualmente las pérdidas por fricción en la tubería y accesorios deben ser restadas y las energías que se retiren para alguna actividad también.

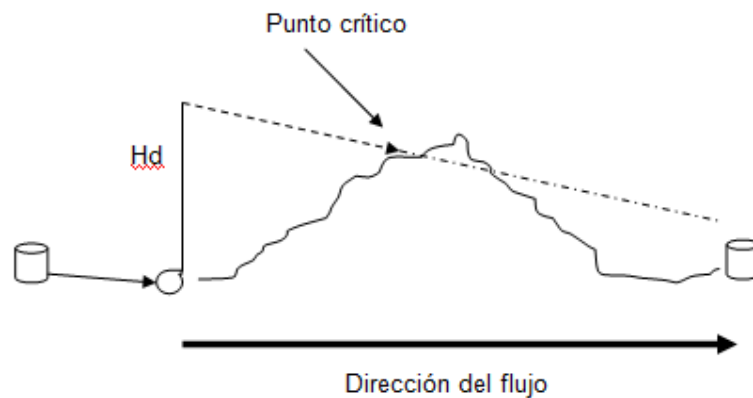
$$(P_1 / \gamma) + z_1 + (v_1^2/2g) + H_a - H_f = (P_2 / \gamma) + z_2 + (v_2^2/2g)$$

Cada término de la ecuación representa una cantidad de energía por peso específico del fluido fluyendo por la tubería.

1.8.4 Gradiente Hidráulico.

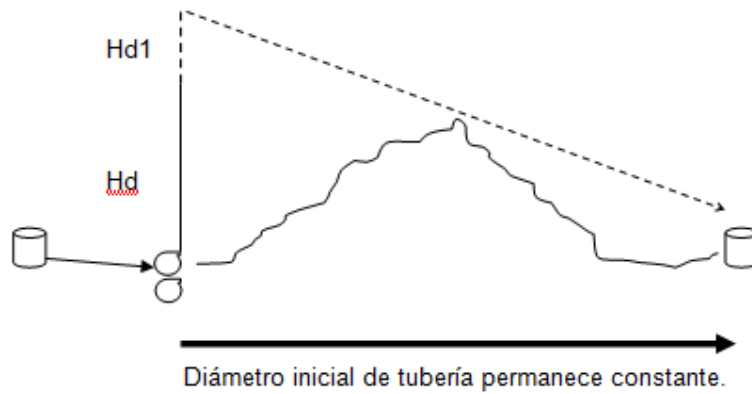
La presión de descarga de un equipo de bombeo se pierde por razón del movimiento del fluido, debido a que la energía cinética debe permanecer igual ya que no cambian las áreas y la energía potencial depende únicamente de la posición, esto ocurre a lo largo de la tubería. La pérdida de presión por unidad de longitud es denominada gradiente hidráulico.

Cuando existen sistemas montañosos cuya altura es mayor a la coordenada de la pendiente del gradiente hidráulico, en ese punto el fluido no podrá vencer la altura liberándose por la presión de vapor, burbujas del fluido, debido a que físicamente los valores se igualan a la presión atmosférica del lugar. Varias alternativas se pueden desarrollar para contrarrestar este punto crítico conociendo el gráfico del perfil topográfico y la línea del gradiente calculado, se puede determinar las coordenadas de intercepción.



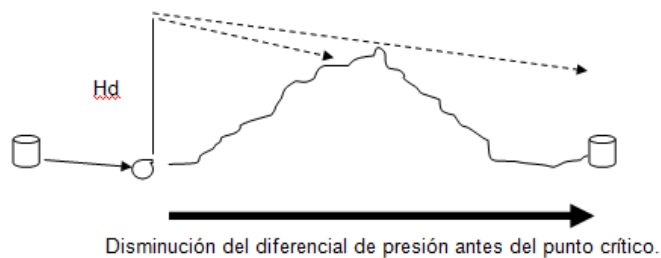
Tubería ubicada sobre la línea del gradiente hidráulico (19)

- i) Para mejorar el cabezal de descarga se puede colocar una bomba adicional en paralelo o incrementando la frecuencia del motor aumentando igualmente el caudal o flujo.



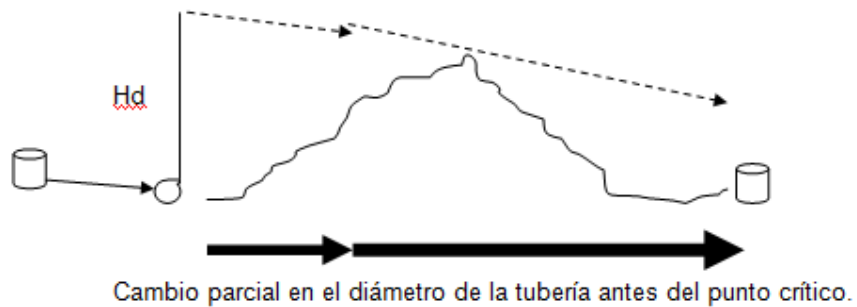
Incremento de cabezal (20)

- ii) Manteniendo el cabezal de descarga de la bomba e incrementado el diámetro de la tubería, para disminuir las pérdidas por fricción, los nuevos cálculos de velocidad de flujo determinarán la nueva tasa de flujo y el nuevo cabezal de operación del sistema de bombeo.



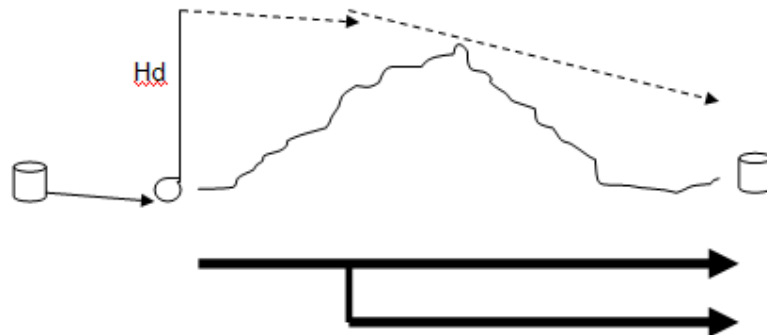
Incremento de diámetro (21)

- iii) Colocar dos tuberías en serie, disminuyendo la caída de presión antes del punto crítico, manteniendo la presión de descarga del sistema de bombeo.



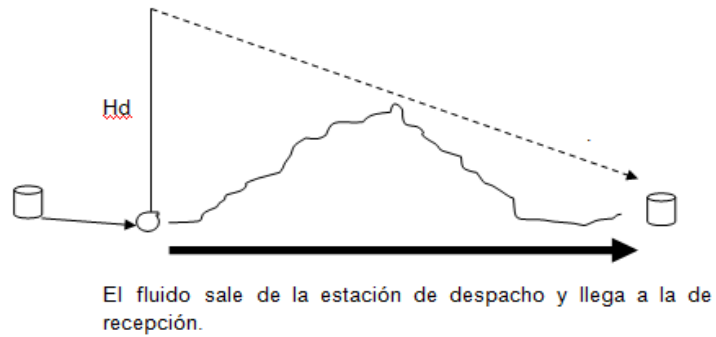
Tuberías en serie (22)

- iv) Colocando dos tuberías en paralelo se incrementa la velocidad de flujo, mejorando la pendiente del gradiente.



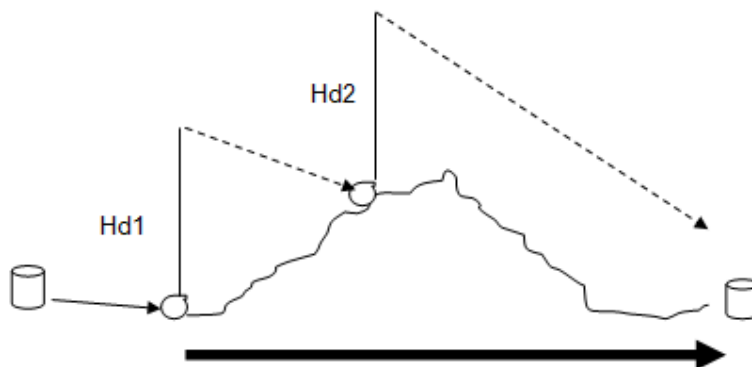
Tuberías parcialmente en paralelo (23)

- v) Un cabezal de descarga apropiado depende de varias variables, incrementando la potencia del motor, se mejorará el gradiente del sistema.



Cabezal de descarga total apropiado (24)

- vi) Colocar estaciones de bombeo en serie, de similares características permitirá el transporte del fluido en condiciones estables.



Bombas en serie a lo largo de una ruta (25)

1.8.5 Cálculos de Caída de Presión para líquidos.

Existen diversas ecuaciones para el cálculo de las caídas de presiones, expresadas en diferentes sistemas de unidades. Si se parte de la ecuación de Darcy-Weisbach en unidades de campo, se tiene:

$$H_f = f_r l v^2 / 64.4 D_i$$

Como

$$\Delta p = g.e H_f / (2.31) (64.4)$$

La caída de presiones en unidades de campo la podemos representar de la siguiente forma.

$$\Delta p = (34.87) f_r l B^2 g.e / D_i^5$$

La ecuación es válida para flujo laminar o turbulento dependiendo de los valores que alcance el factor de fricción f_r .

1.8.6 Distancia Entre Estaciones.

Para conocer la distancia entre estaciones podemos asumir que la presión de llegada es aproximadamente cero por lo que en el diferencial de presión despejamos presión de bombeo, por lo tanto la distancia queda expresada como:

$$l = P_b D_i^5 / (34.87) f_r B^2$$

La distancia máxima de bombeo entre la estación de bombeo y de recepción dependerá de la potencia de la bomba, caída de presión en la tubería y del perfil topográfico incluso.

1.8.7 Potencia de bombeo.

La potencia requerida para el sistema de bombeo para flujo laminar o turbulento en unidades de campo está determinada por:

$$HP = 40.824 (10^{-5}) B \Delta p / \xi$$

CAPITULO II

DISEÑO DE OLEODUCTO SECUNDARIO DESDE EL CAMPO POLITO II HASTA LA ESTACION DE RECOLECCION Y BOMBEO.

2. SELECCIÓN DE LA RUTA.

Considerando que una parte de la zona central de la provincia de Manabí (ver mapa 1) está siendo explorada por una compañía petrolera y dadas la expectativas creadas alrededor de existencia de reservas de hidrocarburos líquidos, así ante la necesidad de evitar el abastecimiento por vía marítima de petróleo crudo hacia la provincia del Guayas, y tratar de crear infraestructura, se presenta una alternativa de la ruta a seguir por oleoducto (ver mapa 2).

Refuerza lo anterior un sistema de carreteras en buen estado que facilitará las operaciones de construcción más aun al no existir una gran cantidad de ciudades densamente pobladas, se presenta la posibilidad de escoger zonas alternativas para bordear a ciudades como Portoviejo, Chone y Jipijapa. Adicional no se observan alturas considerables de la cordillera, menores a 400 metros con climas estables cálido-fresco y seco, por lo que

genéricamente que la zona en cuestión es apropiada, la temperatura media de 24 grados Celcius. Se observaron 57 pequeñas y medianas poblaciones por donde pasaría la tubería cuya longitud es de 285 kilómetros.

2.1 DESCRIPCION BREVE DE LA RUTA.

La determinación de los valores de distancia, alturas y posición fueron realizadas durante una salida de campo y contrastadas con datos de mapas a escala de 1:50.000 a fin de tener un posicionamiento lo más cercano a lo real.

En total se fijaron 247 estaciones o puntos, las que en su mayoría se referencian de carreteras y caminos vecinales, un trabajo más al detalle involucraría espaciamiento entre estaciones de 100 metros, sin embargo los valores propuestos permiten observar la variación topográfica regional. Estos valores serán graficados en alturas contra distancias, sirven para construir el perfil topográfico y luego el gradiente hidráulico, (ver anexo 1).

Nuestro punto de partida es llamado la Mancilla, según el lugar ubicado aproximadamente a 80 grados 2 minutos longitud Oeste y 0 grados longitud Sur, mientras que el de llegada se ubica en las cercanías de la refinería de

La Libertad, el punto escogido denominado 180, posee las coordenadas 80 grados 52 minutos longitud Oeste y 2 grados 12 minutos latitud Sur.

Desde el punto la Mancilla hasta el punto el Guabito existe una distancia de 87 km en las cercanías de Portoviejo, se observan que son terrenos dedicados a la siembra de plátanos, maíz y arroz. A partir del Guabito, Jipijapa hasta Puerto López no se observan poblaciones altamente pobladas, estos territorios se observan cultivos en menor escala. Desde Puerto López hasta la estación o punto 180, no se observan cultivos o grandes áreas con vegetación, mientras que las poblaciones entre estos puntos mantienen actividades dedicadas a la pesca y comercio básicamente.

Consecuentemente, se aspira a que sea esta una alternativa económica, debido a que el sistema montañoso no es complejo mientras que el sistema fluvial es virtualmente inexistente.

A continuación se presenta la tabla número uno, donde se observa una matriz con distancias entre poblados, alturas y coordenadas verticales y horizontales de las cartas del IGM prepara, la exactitud de estos valores es inferior a 100 metros.

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.						
Estaciones		Distancias		Alturas	Coordenadas	
		Entre dos Puntos	Acumuladas Referenciales		Verticales	Horizontales
		(Km)	(Km)		(*)	(*)
1	La mancilla	0,00	0,00	120,00	7,50	40,60
2	Pavón	1,35		90,00	7,15	39,35
3	Pavón 1	0,80		120,00	7,45	38,60
4	Pavón 2	1,15		80,00	7,75	37,60
5	Ricaurte	1,70	5,00	100,00	7,50	36,00
6	Chagualu	2,30		40,00	7,90	33,80
7	Chagualu 1	1,10		40,00	7,90	32,65
8	Rio garrapata	1,40		30,00	7,40	31,30
9	Garrapata 1	1,75		30,00	7,15	29,70
10	Garrapata 2	1,80	13,35	30,00	7,30	28,00
11	San Andrés	1,70		25,00	6,75	26,40
12	El Guabal	2,10		25,00	4,70	24,65
13	Puerto del bejuco	1,50		20,00	4,05	23,30
14	Cacheve	1,50		15,00	2,60	22,70
15	Chone	2,10	22,25	10,00	0,60	22,00
16	No 1	4,20		20,00	99,20	18,40
17	No 2	2,50		40,00	98,30	16,50
18	No 3	2,30		30,00	97,50	14,50
19	Canuto	2,00		10,00	97,60	12,65
20	No 4	1,00	34,25	10,00	97,60	11,60
21	Guarumal	1,60		40,00	96,30	10,60
22	Bejucal	2,70		18,00	94,45	8,65
23	Calceta	1,10		15,00	94,00	7,60
24	No 5	1,55		15,00	94,00	6,00
25	El corozo	1,90	43,10	20,00	92,20	5,75
26	Soledad	2,80		30,00	91,00	3,30
27	La mijarra	2,50		40,00	91,20	1,10
28	El caucho	1,50		40,00	90,20	99,80
29	Junín	1,75		80,00	88,65	98,95
30	No 6	2,20	53,85	70,00	86,70	97,90
31	Rio frio	1,80		80,00	85,20	96,90
32	No 7	2,70		80,00	82,75	95,75
33	No 8	1,90		100,00	81,10	95,45
34	No 9	1,20		200,00	80,30	94,85
35	No 10	1,10		300,00	79,85	94,95
36	No 11	0,60		370,00	79,40	94,70
37	No 12	1,50	64,65	200,00	79,20	93,50

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.						
Estaciones		Distancias		Alturas (m)	Coordenadas	
		Entre dos Puntos	Acumuladas Referenciales		Verticales	Horizontales
		(Km)	(Km)		(*)	(*)
38	No 13	2,10		100,00	78,40	91,75
39	PUEBLO NUEVO	1,50		80,00	77,10	91,45
40	No 14	2,30		40,00	75,10	90,40
41	No 15	1,70		20,00	73,35	90,30
42	No 16	1,70	73,95	10,00	72,00	89,65
43	SAN GABRIEL	2,60		10,00	69,50	88,75
44	No 17	3,15		70,00	67,40	86,50
45	No 18	2,60		100,00	67,55	84,15
46	No 19	1,20		180,00	66,65	83,50
47	No 20	1,25	84,75	100,00	65,80	82,60
48	CUATRO ESQUINAS	2,60		60,00	63,40	81,50
49	EL GUABITO	1,20		65,00	62,25	81,75
50	No 21	2,80		80,00	59,65	80,70
51	No 22	1,65		90,00	58,20	79,85
52	No 23	1,85		90,00	56,70	78,75
53	No 24	1,80	96,65	100,00	55,05	78,10
54	No 25	0,85		120,00	54,30	77,70
55	No 26	1,20		120,00	53,25	77,25
56	No 27	2,20		160,00	51,20	76,65
57	No 28	1,20		200,00	50,05	76,95
58	No 29	0,90	103,00	260,00	49,15	77,15
59	LA PILA	2,10		220,00	47,20	77,25
60	No 30	0,75		270,00	47,30	76,50
61	No 31	0,60		210,00	47,30	75,90
62	No 32	0,80		290,00	47,25	75,15
63	No 33	1,80		300,00	47,00	73,50
64	No 34	2,00	111,05	340,00	46,60	71,60
65	No 35	0,75		300,00	46,90	71,00
66	No 36	1,40		250,00	47,00	69,65
67	No 37	1,60		270,00	46,40	68,75
68	No 38	1,00		250,00	46,45	67,80
69	No 39	0,80		260,00	46,80	67,15
70	No 40	1,20		300,00	47,50	66,50
71	No 41	1,15		220,00	46,20	65,60
72	No 42	1,20	120,15	230,00	45,70	64,65

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.						
Estaciones		Distancias		Alturas	Coordenadas	
		Entre dos Puntos	Acumuladas Referenciales		Verticales	Horizontales
		(Km)	(Km)		(*)	(*)
73	No 43	0,40		210,00	45,80	64,30
74	No 44	1,30		230,00	46,95	63,50
75	No 45	0,80		210,00	46,10	62,65
76	No 46	2,00		240,00	46,30	60,60
77	No 47	1,60	126,25	260,00	45,90	59,10
78	No 48	1,80		300,00	45,75	57,35
79	No 49	1,20		300,00	46,95	56,30
80	No 50	1,40		320,00	46,10	51,10
81	No 51	1,50		380,00	46,90	53,90
82	No 52	1,60	133,75	300,00	47,30	52,40
83	No 53	0,50		340,00	47,75	52,20
84	JIPIJAPA	0,50		280,00	48,00	51,75
85	No 54	0,80		360,00	47,95	51,00
86	No 55	0,60		300,00	47,80	50,45
87	No 56	0,35	136,50	340,00	47,80	50,10
88	CIUDADELA ALFARO	0,70		300,00	47,25	49,75
89	No 57	0,80		340,00	47,15	49,00
90	No 58	1,00		320,00	47,20	48,00
91	No 59	0,80		280,00	47,70	47,40
92	No 60	0,60	140,40	320,00	47,40	46,90
93	No 61	0,80		280,00	47,60	46,15
94	No 62	0,70		320,00	47,95	45,50
95	SAN VICENTE	0,75		340,00	48,10	44,75
96	EL ALTA	1,00		320,00	48,20	43,80
97	DOS ESTEROS	1,11	144,76	340,00	48,15	42,80
98	SAN BEMBE	1,80		380,00	48,80	41,10
99	No 63	0,50		410,00	48,80	40,65
100	GUARANGO	1,80		360,00	47,60	39,40
101	No 64	2,20		310,00	45,60	39,00
102	No 65	1,25	152,31	370,00	44,90	40,00
103	JULCUY	4,70		240,00	42,30	36,40
104	LAS PEÑAS	2,60		200,00	39,80	35,90
105	LAS PEÑAS1	0,75		200,00	39,15	35,60
106	No 66	3,00	163,36	166,00	36,90	34,30

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.

Estaciones		Distancias		Alturas	Coordenadas	
		Entre dos Puntos	Acumuladas Referenciales		Verticales	Horizontales
		(Km)	(Km)		(*)	(*)
107	SOLEDAD	2,30		140,00	35,00	33,00
108	VUELTA LARGA	3,00		100,00	33,10	31,20
109	No 67	1,20		70,00	32,20	30,50
110	No 68	1,70		70,00	30,75	30,60
111	No 69	1,30	172,86	58,00	29,50	30,25
112	AGUA BLANCA	1,45		40,00	28,35	31,25
113	BUENA VISTA	3,25		40,00	25,25	32,20
114	No 70	2,00		20,00	23,55	31,10
115	LA CIENEGA	1,60		30,00	22,40	30,10
116	PUERTO LOPEZ	2,50	183,66	20,00	22,10	27,80
117	No 71	1,20		40,00	21,00	27,50
118	No 72	1,20		100,00	19,80	27,50
119	No 73	0,50		80,00	19,45	27,00
120	No 74	0,50		100,00	19,30	26,60
121	No 75	0,65	187,71	80,00	19,00	26,00
122	SALANGO	1,50		0,00	18,55	24,60
123	No 76	0,80		80,00	17,90	24,10
124	No 77	0,50		80,00	18,15	23,60
125	RIO CHICO	1,50		20,00	18,60	22,85
126	No 78	0,80		70,00	19,00	22,10
127	No 79	0,45	192,81	30,00	19,25	21,80
128	No 80	0,70		100,00	19,70	21,25
129	PUERTO RICO	1,50		20,00	20,10	19,90
130	No 81	0,80		70,00	20,10	19,20
131	No 82	0,40		40,00	19,95	18,85
132	LAS TUNAS	1,10		0,00	20,40	17,90
133	No 83	0,35	197,31	40,00	20,45	17,60
134	No 84	0,65		40,00	20,85	17,05
135	No 85	0,55		0,00	21,20	16,70
136	No 86	0,50		30,00	21,50	16,20
137	LA CABANA	0,60		30,00	21,65	15,65
138	AYAMPE	0,65		0,00	21,45	15,00
139	No 87	1,00		80,00	21,70	14,15
140	No 88	0,75	202,01	140,00	22,10	13,60

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.						
Estaciones		Distancias		Alturas	Coordenadas	
		Entre dos Puntos	Acumuladas Referenciales		Verticales	Horizontales
		(Km)	(Km)	(m)	(*)	(*)
141	No 89	0,50		130,00	22,50	13,70
142	No 90	0,60		140,00	22,30	13,10
143	No 91	0,35		90,00	22,60	13,15
144	No 92	0,35		130,00	22,55	12,80
145	No 93	0,70	204,51	90,00	22,85	12,60
146	No 94	0,80		140,00	22,70	12,00
147	No 95	0,80		190,00	23,15	12,00
148	No 96	0,80		150,00	23,65	12,10
149	No 97	1,25		190,00	24,65	12,70
150	No 98	0,60	207,96	200,00	25,20	12,50
151	No 99	0,60		120,00	24,90	12,10
152	No 100	1,25		40,00	24,85	10,95
153	LA ENTRADA	1,50		0,00	24,45	9,50
154	No 101	0,35		50,00	24,75	9,35
155	No 102	0,20	211,86	30,00	24,90	9,25
156	No 103	0,20		50,00	24,95	9,05
157	No 104	0,25		0,00	25,00	8,80
158	No 105	0,35		30,00	21,10	8,45
159	No 106	0,25		0,00	25,30	8,35
160	No 107	0,25	213,71	50,00	25,45	8,20
161	LA NUÑEZ	0,35		30,00	25,70	7,90
162	No 108	0,50		30,00	26,05	7,70
163	No 109	0,35		50,00	25,90	7,40
164	No 110	0,40		0,00	26,90	7,00
165	No 111	1,00	216,51	0,00	26,45	6,20
166	SAN JOSE	0,50		50,00	26,35	6,80
167	No 112	0,50		15,00	26,50	5,35
168	No 113	0,40		30,00	26,40	5,00
169	LA CURIA	0,40		10,00	26,55	4,65
170	No 114	0,70	219,76	15,00	27,00	4,20
171	No 115	0,50		15,00	27,30	3,75
172	No 116	0,30		50,00	27,45	3,50
173	No 117	0,75		10,00	27,75	2,85
174	Los Ramírez	0,40		0,00	28,00	2,50
175	Olon	0,80		0,00	28,00	1,70
176	No 118	0,50	223,01	0,00	28,10	1,30

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.						
Estaciones		Distancias		Alturas (m)	Coordenadas	
		Entre dos Puntos	Acumuladas Referenciales		Verticales	Horizontales
		(Km)	(Km)		(*)	(*)
177	No 119	0,50		60,00	28,15	0,80
178	No 120	0,40		80,00	28,45	0,55
179	No 121	0,80		20,00	28,70	99,80
180	No 122	1,50		0,00	28,90	98,30
181	No 123	0,60	226,81	40,00	29,15	97,75
182	No 124	0,40		0,00	29,35	97,40
183	NUEVA MANGLARALTO	0,40		30,00	29,55	97,15
184	HCD. EL REFUGIO	0,25		0,00	28,70	96,95
185	No 125	0,50		15,00	29,65	96,50
186	No 126	0,70	229,06	90,00	29,60	95,80
187	No 127	0,20		50,00	29,65	95,65
188	No 128	0,20		90,00	29,65	95,50
189	No 129	0,20		50,00	29,65	95,30
190	No 130	0,50		30,00	30,10	95,00
191	No 131	0,30	230,46	70,00	30,35	94,85
192	No 132	0,60		20,00	30,70	94,45
193	No 133	0,35		30,00	30,85	94,15
194	No 134	0,60		50,00	30,90	93,55
195	No 135	0,25		0,00	30,95	93,30
196	No 136	1,00	233,26	0,00	31,30	92,35
197	CERRO LA POLVORA	1,10		90,00	31,65	91,35
198	No 137	0,50		40,00	32,00	91,00
199	No 138	1,10		30,00	31,65	90,00
200	No 139	1,20		15,00	31,35	88,90
201	No 140	1,00	238,16	20,00	31,75	88,05
202	No 141	0,45		50,00	31,85	87,65
203	No 142	0,40		30,00	32,15	87,40
204	No 143	0,70		50,00	32,40	86,80
205	No 144	0,60		0,00	32,65	86,25
206	CRUCE DE CINCHAL	0,55		0,00	32,75	85,70
207	No 145	2,30		40,00	32,65	83,50
208	No 146	1,85	245,01	40,00	32,60	81,75

Tabla de identificación de poblados, puntos de referencia, distancias y coordenadas.						
Estaciones		Distancias		Alturas	Coordenadas	
		Entre dos Puntos	Acumuladas Referenciales		Verticales	Horizontales
		(Km)	(Km)		(*)	(*)
209	No 147	1,00		20,00	32,45	80,85
210	No 148	1,70		0,00	32,20	79,15
211	No 149	1,20		0,00	32,00	78,00
212	EL PERRO NEGRO	0,90		0,00	32,00	77,10
213	RIO JAVITA	1,65	251,46	0,00	32,00	75,45
214	No 150	1,45		0,00	32,30	74,00
215	MONTE VERDE	0,80		30,00	32,80	73,45
216	No 151	1,10		70,00	33,00	72,30
217	No 152	1,20		70,00	32,20	71,40
218	No 153	0,70	256,71	50,00	32,30	70,75
219	No 154	0,80		0,00	32,20	70,00
220	No 155	1,15		15,00	31,90	68,90
230	No 156	1,75		15,00	31,00	67,50
231	No 157	1,00		30,00	30,50	66,55
232	No 158	0,55	261,96	50,00	30,30	66,10
233	No 159	0,50		30,00	30,00	65,70
234	No 160	0,75		10,00	29,90	64,90
235	No 161	1,30		10,00	29,00	64,00
236	No 162	0,75		20,00	28,65	63,35
237	No 163	1,10	266,36	20,00	28,35	62,25
238	No 164	0,60		0,00	28,10	61,70
239	No 165	1,10		0,00	27,30	61,00
240	CERRO ALTO	1,50		0,00	26,25	60,00
241	No 166	1,00		20,00	25,50	59,30
242	No 167	0,80	271,36	20,00	24,90	58,80
243	No 168	1,00		50,00	23,90	58,60
244	No 169	1,00		60,00	23,10	58,00
245	No 170	1,25		40,00	22,00	57,40
246	No 171	1,25		20,00	20,85	57,00
247	No 172	0,90	276,76	10,00	20,20	56,40
248	No 173	0,80		20,00	19,65	55,70
249	No 174	1,05		40,00	19,05	54,80
250	No 175	0,90		65,00	18,15	54,70
251	No 176	0,90		65,00	17,30	54,80
252	No 177	1,00		65,00	16,40	55,25
253	No 178	0,85		40,00	15,60	55,40
254	No 179	1,60		20,00	14,00	55,30
255	No 180	1,10	285,06	20,00	13,00	55,00

2.2 CALCULOS DEL DISEÑO.

Se elaboró un programa general de cálculo para computadora, los datos utilizados para la ejecución se obtuvieron de reportes de campo de tal forma que los resultados se ajusten en lo posible a la realidad, se considera en todo momento que el fluido es incompresible y monofásico con temperatura constante a lo largo de la tubería, no existen pérdidas al exterior y el diámetro de la tubería es constante. Se considera un solo valor de rugosidad.

2.2.1 Procedimiento del Cálculo.

- Una base de datos es elaborada para la ejecución de los cálculos de forma secuencial: características de la tubería y propiedades del fluido.
- El caudal es conocido así como las alturas de la salida y llegada de la tubería.
- Se define una cabeza mínima de operación equivalente a toda la energía a gastarse por fricciones menos la altura del lugar.
- Un diámetro inicial pequeño se debe suponer para inicio de los cálculos.
- Las pérdidas menores por accesorios deben ser menores al 30 por ciento de las pérdidas por fricción.

- La velocidad y el caudal se calculan.
- Los caudales, calculado y demandado son comparados para obtener la primera convergencia, caso contrario se incrementa el valor inicial del diámetro asumido.
- Si los caudales convergen se realiza el cálculo del cabezal de fricción obtenido de la ecuación de Bernoulli con pérdidas.
- El valor nuevo de cabezal de fricción se compara con el anterior para observar una segunda convergencia. Si la diferencia entre los valores obtenidos de cabezal de fricción no convergen, se calcula nuevamente la velocidad y el caudal respectivo.
- Si la segunda convergencia se alcanza, se comparan los caudales, si estos valores no convergen, se realiza un incremento predeterminado al diámetro inicial y se realiza un nuevo cálculo.
- Caso contrario se ha encontrado el valor del diámetro para la tubería, se obtienen los valores de caudales y velocidad.
- Luego se determinan: El número de Reynolds, factor de fricción, pérdida de energía por Darcy-Weisbach, Potencia y Costos.

2.2.2 Datos de Tubería y Costos.

- Las variables relacionadas con la tubería de material constante a lo largo de la ruta: Diámetro interno (D_i), longitud de la tubería (L), rugosidad absoluta (ϵ).

- Las variables relacionadas al petróleo: Viscosidad del Petróleo (μ_o), densidad del petróleo (ρ_o).
- Espesor de la tubería
- Costo del acero por tonelada
- Costo unitario por caballo de fuerza instalado (HP).

2.2.3 Datos del Programa.

- a) B, Caudal
- b) D_i , Diámetro
- c) ϵ , Rugosidad absoluta
- d) L, Longitud de la tubería
- e) Z_2 , Cota final o altura de llegada de la tubería
- f) H_f , Cabezal de fricción inicial
- g) ΔD_i , Factor que incrementa el valor del diámetro
- h) EPS, diferencia permitida entre dos cálculos realizados sucesivamente.

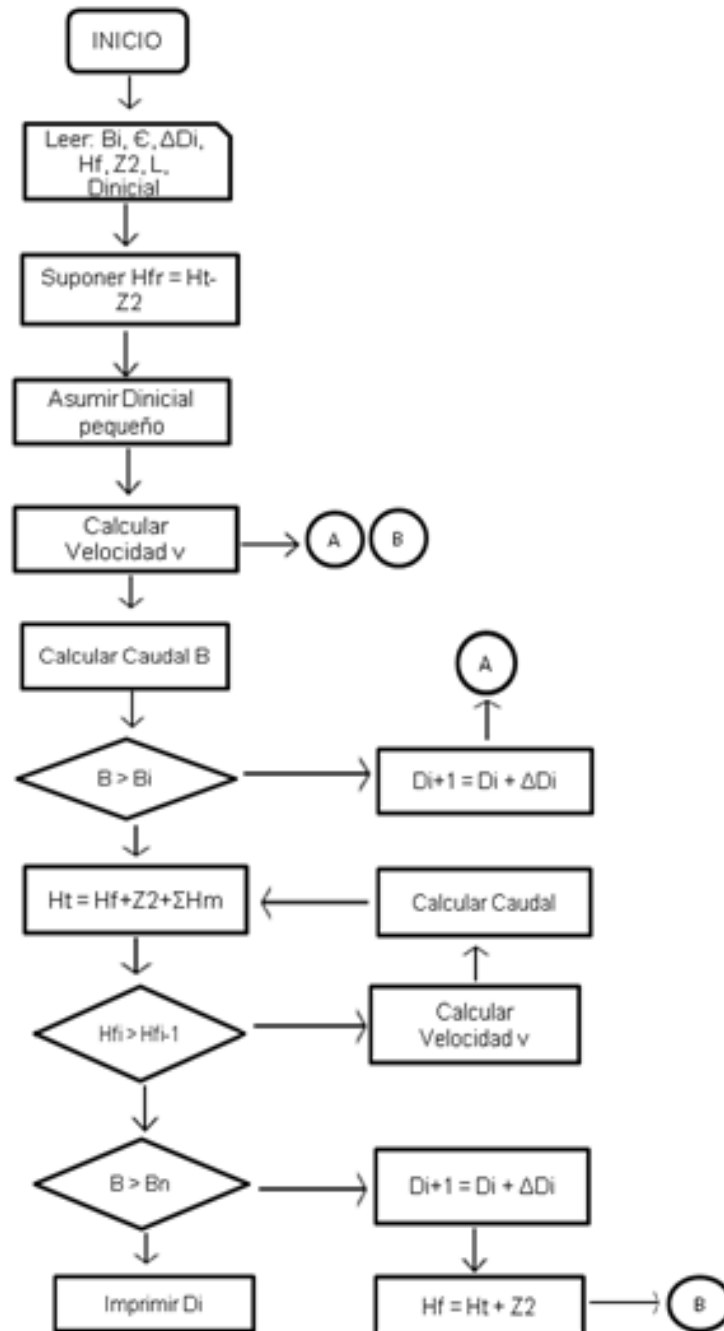
2.2.4 Ecuaciones que se utilizan.

$$v = ((-2(2gD_i h_f)^{1/2}) / (L)^{1/2}) \log_{10}((\epsilon / 3.7 D_i) + (2.71 v (L)^{1/2} / D_i (2g D_i h_f)))$$

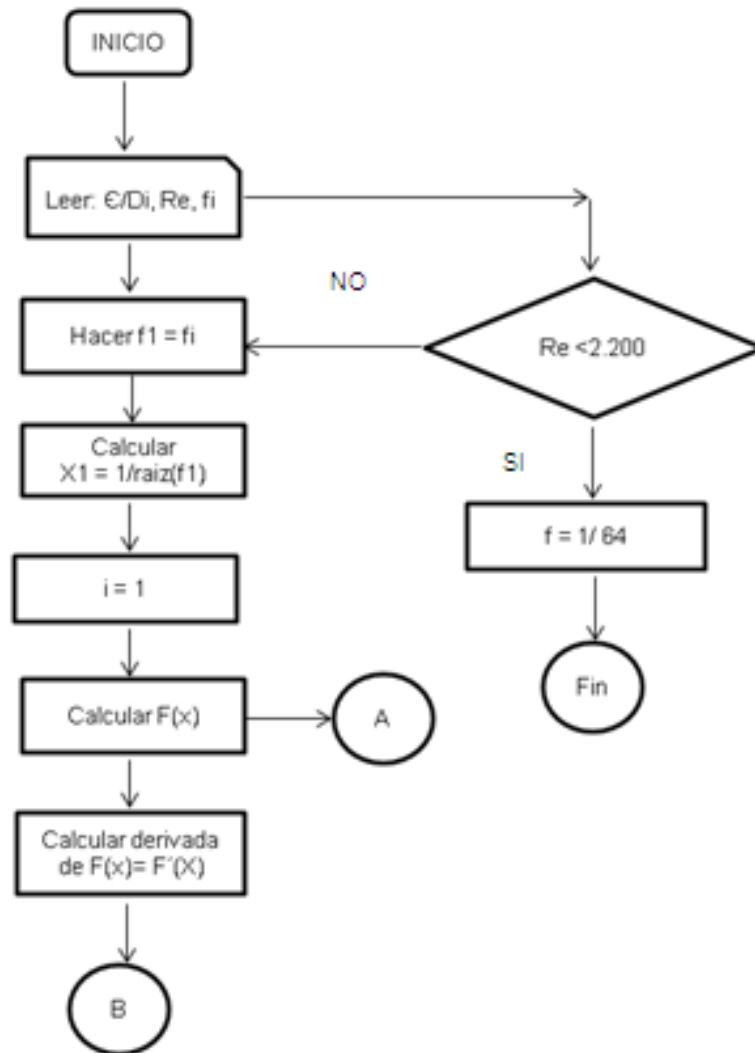
Ecuación explícita de la velocidad, derivada de las ecuaciones de: Bernoulli con pérdidas, Darcy-Weisbach y Colebrook White.

$B = v A$	Caudal
$Re = 2214 Q / di$	Nº de Reynolds
$fr = 64 / Re$	Factor de fricción para flujo laminar
$1 / (fr)^{1/2} = -2 \log (\epsilon/3.7 Di + 2.51/Re (fr)^{1/2})$	Colebrook – White para flujo turbulento.
$Xi = 1 / raíz(fi)$	Newton - Raphson
$F(Xi) = -2\log_{10} (\epsilon/3.7 Di + 2.51 Xi/Re)$	Función de Xi
$F'(Xi) = (-2/\ln 10)((2.51/Re)/(\epsilon/3.7 Di + 2.51 Xi/Re))$	Derivada de F(Xi)
$H_f = fr L v^2 / 2 g Di$	Darcy-Weisbach
$H_f = fr L 8 B^2 / Di^5 g \pi^2$	Darcy-Weisbach
$H + H_d = Z_2 + H_f + \Sigma H_m$	Cabecal para la descarga
$HP = \rho B g H_t$	Potencia.

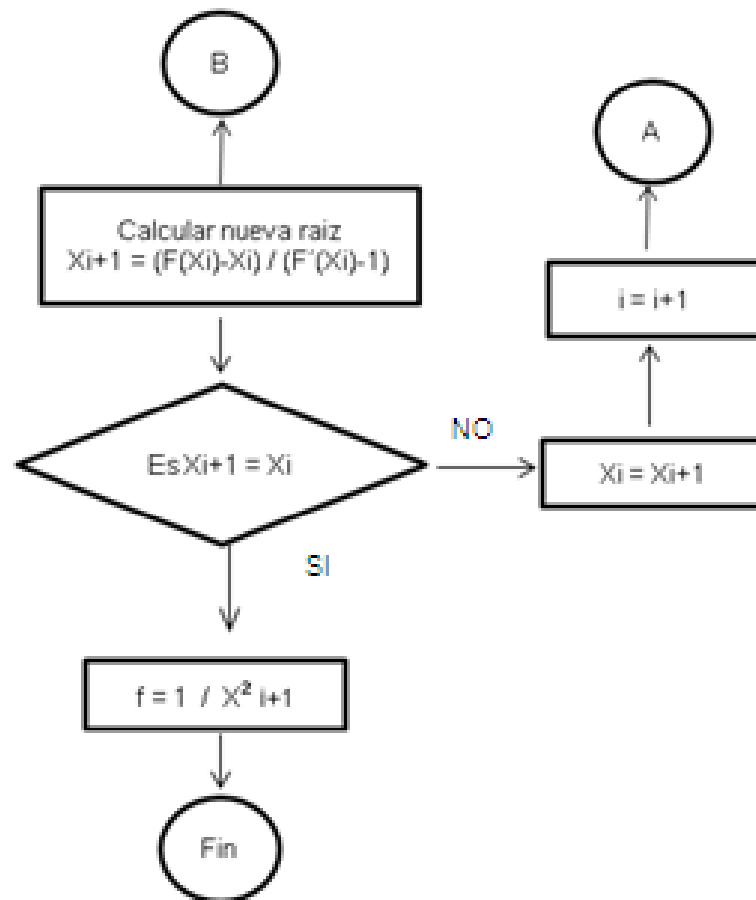
2.2.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA



2.2.6 DIAGRAMA DE LA SUBROUTINA



CONTINUACION DEL DIAGRAMA DE LA SUBROUTINA



CAPITULO III

CONSIDERACIONES ECONOMICAS

3.1 BASES PARA LOS CALCULOS DE LOS COSTOS. (5)

Para la obtención del costo mínimo, se deben realizar combinaciones entre los costos de la tubería y de la bomba.

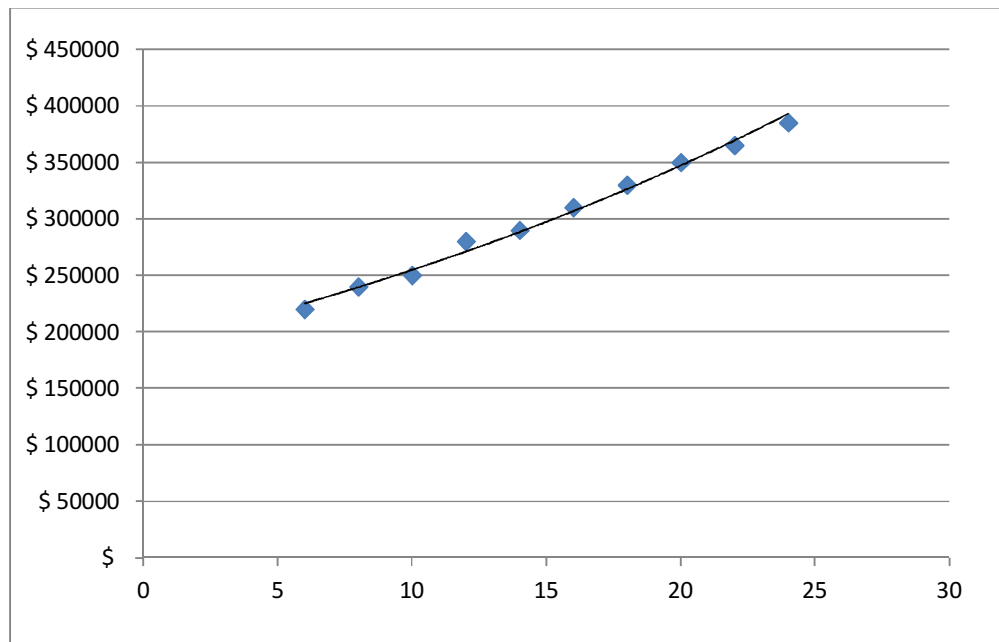
a) Costo de la tubería.

Se debe considerar el costo de la tubería y de los accesorios tales como válvulas, recibidores y lanzadores de raspatubos o pigs, codos, bridas, soldadura, costos de excavaciones si va enterrado, equipos y transporte, depósito e instalación, pruebas de arranque.

TABLA DE VALORES APROXIMADOS (2)

COSTOS	
DIAMETROS	TUBERIA
Pulgadas	Dólares/km
6	\$220.000
8	\$240.000
10	\$250.000
12	\$280.000
14	\$290.000
16	\$310.000
18	\$330.000
20	\$350.000
22	\$365.000
24	\$385.000

Variación de los costos de construcción por kilometro según el diámetro requerido.



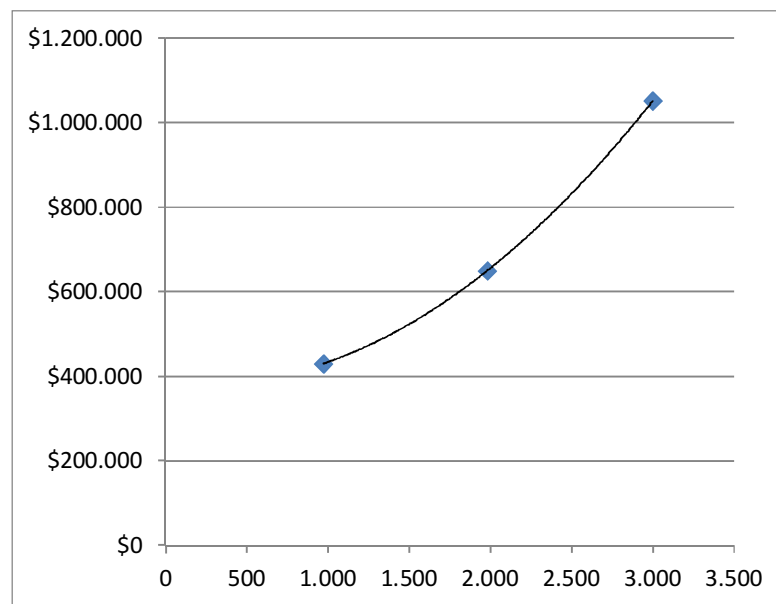
b) Costo de la Estación de Bombeo.

El costo debe incluir el costo de la bomba y el motor, transformador, instalación y operación y crecen igualmente de forma exponencial con la potencia del motor. Sin embargo a medida que el diámetro se reduce, el sistema de bombeo requerirá de mayor potencia aumentando los costos y viceversa cuando el diámetro aumenta.

Variación de cabezales de bombeo a diferentes diámetros y caudales y su incidencia en los costos.

B (bpd)	Hb (m)		
CAUDAL	24 "	20 "	18 "
0	120,00	120	120
30.000	192,32	377	564
50.000	307,00	615	927
75.000	450,00	913	1381
90.000	536,00	1091	1653
97.828	581,00	1185	1795

Variación de los costos unitarios de las bombas según la potencia requerida para diámetros de 18, 20 y 24 pulgadas.



Potencia en kilo Watts

Calculo del costo total (4)

COSTOS		COSTOS POR 2 BOMBAS		COSTO
DIAMETROS	TUBERIA	POTENCIA	COSTOS	TOTAL
Pulgadas	Dólares	Kilo Watts	Dólares	Dólares
18	\$99.750.000	3.000	\$1.052.000	\$100.802.000
22	\$104.025.000	1.980	\$650.000	\$104.675.000
24	\$109.725.000	971	\$430.000	\$110.155.000

3.2 CALCULO DEL COSTO POR BARRIL TRANSPORTADO.

a) Que la tasa de interés sobre el costo neto de la obra es constante e igual al 7% anual y que el valor de los imprevistos es el 5% del costo del oleoducto.

b) El costo del producto inmovilizado por barril se le asigna el valor de 90 dólares, que al multiplicárselo por el volumen de petróleo almacenado en la tubería nos da el costo total.

c) Cargos variables.

Por mantenimiento de la tubería y sistema de bombeo el 1% de su costo.

Excluimos los costos por salarios, mantenimiento y operación, así como el consumo de combustible en las estaciones de bombeo. La suma de los costos arriba mencionados nos determina el costo anual por bombeo que dividido para la producción anual nos da el costo en dólares por barril producido. El tiempo de vida útil del oleoducto es de 25 años

3.3 PRESENTACION DE RESULTADOS (VER ANEXO N° 3)

CAPITULO IV

DISCUSION DE RESULTADOS

Para el cálculo del diámetro requerido se debió asumir un diámetro inicial pequeño así como estimar un valor alto del cabezal para las pérdidas por fricción, para distancias cortas puede utilizarse el diferencial de alturas como el valor inicial del cabezal de pérdidas por fricción. El valor de la viscosidad cinemática correspondiente a un petróleo que se estima de bajo API igualmente influye en el cálculo del valor del diámetro. El valor de 24 pulgadas permite fluir hasta 0,216 metros cúbicos por segundo. Luego se determinó que el flujo es de tipo Laminar, el cabezal de descarga deberá ser de 461 metros. Existen bombas centrífugas para operar con esas características, sin embargo pueden colocarse dos bombas en paralelo de 60,000 barriles por día aproximadamente cada una, de tal forma que se aproveche el consumo de energía y se eviten grandes volúmenes de recirculación a los tanques a través de la válvula de presión. Una tercera bomba de relevo debe ser adquirida cuando alguna de ellas salga a mantenimiento.

La potencia del motor calculada es de 771 kilovatios, generalmente los arranques de motores con esta potencia requieren de variadores de velocidad que evitan la sobre demanda de energía al proveedor o a la

generación local. La curva del sistema permite conocer cuanta energía será sub utilizada debido a que el caudal final no será alcanzado de forma inmediata en un campo petrolero, originando que el caudal máximo de la bomba sea superior al producido por los campos petroleros por lo que la válvula de control creará un diferencial de presión ya que trabajará parcialmente abierta, esta presión debe abrir una válvula de control de presión que permitirá el retorno de excesos a los tanques de bombeo.

Desde el punto de vista económico, que generalmente prevalece en la toma de decisiones, no es conveniente colocar tubería de menor diámetro como se determina al seleccionar también de 18 pulgadas y 20 pulgadas, los valores de potencia son de 1795 kvatios y 1185 kvatios, duplicando y triplicando los costos por consumo de energía y consecuentemente los costos se incrementan en la misma proporción.

La tubería de 24 pulgadas de diámetro origina que el sistema de bombeo sea de \$430,000 dólares por cada bomba empleada, mientras que para una tubería de 20 y 18 pulgadas se incrementa a \$650.000 dólares y \$1.052.000 respectivamente. Mientras que el valor total incluyendo tuberías y bombas es de \$110.115.000 dólares para un diámetro de 24 pulgadas y 285 km de longitud, valor estimado apropiado para este proyecto. Finalmente el costo por transporte de cada barril es de 0,41 dólares.

CONCLUSIONES

1. La selección de la ruta referencial por donde debe pasar la tubería no involucra zonas densamente pobladas, pero si al sistema montañoso de la Costa Ecuatoriana.
2. Para la convergencia del proceso de diseño se consideró un diámetro lo suficientemente pequeño, lo que significó un mayor número de iteraciones, y la condición de que las pérdidas menores sean del orden del 20 por ciento al 30 por ciento de las pérdidas por fricción, debido a la gran longitud de la tubería y que adicionalmente no se consideran accesorios intermedios.
3. Como se usa la metodología de Darcy- Weisbach y la ecuación de Colebrook- White para la obtención de la velocidad en la tubería que es a su vez función del diámetro, rugosidad absoluta, cabezal por fricción, distancia, viscosidad cinemática del fluido y aceleración de la gravedad, se asume un cabezal por fricción varias veces mayor al diferencial de alturas entre la salida y llegada de la tubería.

4. El diámetro obtenido por las iteraciones es de 24 pulgadas, con un caudal de 0,216 metros cúbicos por segundo, superior al caudal requerido que es de 0,180 metros cúbicos por segundo.
5. El tipo de flujo obtenido es Laminar para el diámetro de 24 pulgadas, el cabezal de bombeo es de 462 metros y la potencia requerida de 772 kilovatios.
6. La línea del gradiente hidráulico no es inferior en ningún punto a la máxima altura encontrada en el sistema montañoso de la Costa, considerando el cabezal de descarga calculado y la altura del punto de partida, por lo que queda descartado la posibilidad de desprendimiento de vapores en la tubería.
7. Se preparó la curva del sistema considerando que el proceso de incremento de caudales del campo petrolero hasta alcanzar la máxima producción se desarrolla en un tiempo de hasta de 12 meses.
8. Se consideraron dos diámetros adicionales de 18 y 20 pulgadas para verificar el incremento de potencia requerida, observándose que el valor se triplica para el diámetro de 18 pulgadas con respecto al seleccionado

de 24 pulgadas, los costos relativos al sistema de bombeo igualmente ascienden a \$1.052.000 y \$460,000 dólares respectivamente.

9. Comparando los diámetros de 18, 20 y 24 pulgadas los costos son mayores para el sistema de bomba tubería de 24 pulgadas sin embargo permitirá pasar el caudal requerido y los costos por bombeo son menores, más aún considerando el tiempo de al menos 20 años de proyecto.

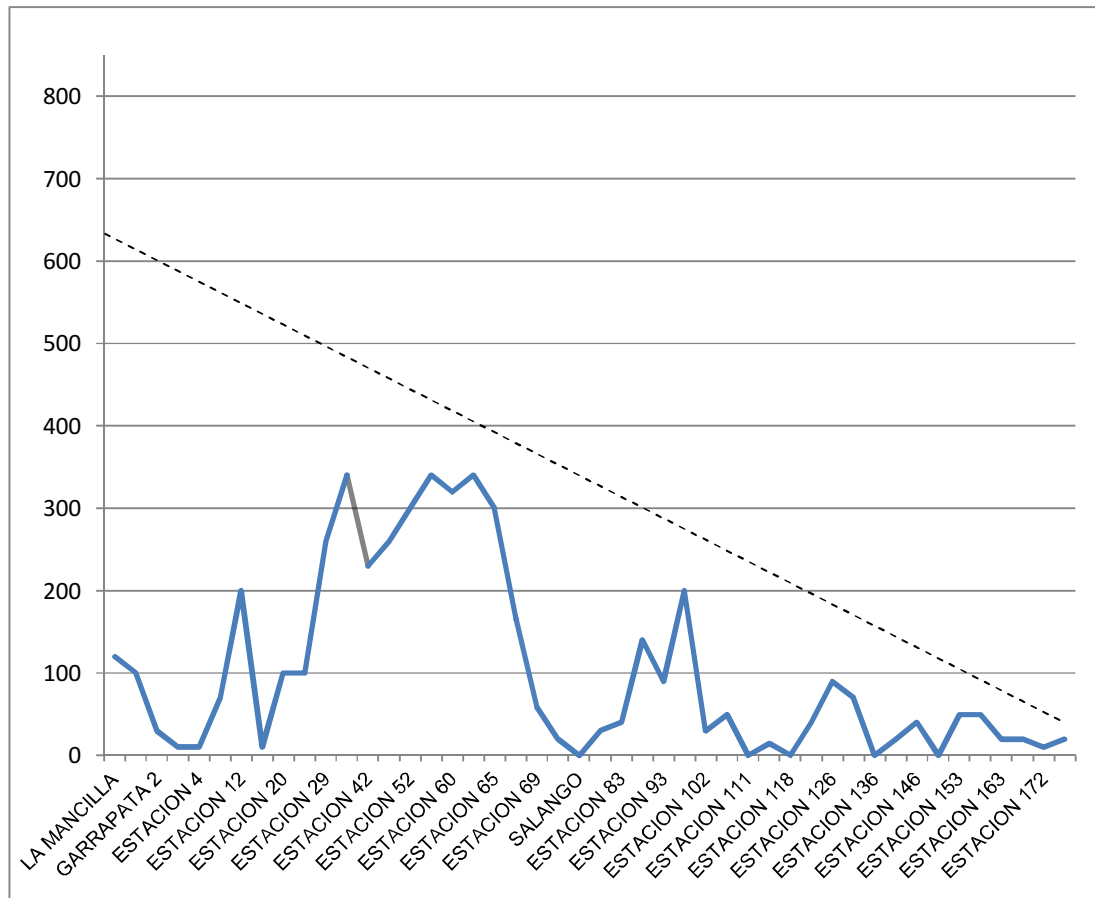
RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar para este proyecto la tubería de 24 pulgadas y sistema de bombeo de 772 kilovatios a un costo de ciento diez millones ciento cincuenta y cinco mil dólares.
2. Se recomienda colocar una válvula de control de presión o flujo en la descarga de la bomba para operar apropiadamente el diferencial originado entre el caudal calculado de 0,216 metros cúbicos por segundo y el requerido de 0,180 metros cúbicos por segundo al utilizar la tubería seleccionada de 24 pulgadas.
3. Considerando la distancia entre los puntos de salida y llegada del petróleo, se recomienda realizar el análisis para un sistema de bombeo intermedio para elevar cabeza, colocando una facilidad de operaciones adicional utilizando el diámetro de 24 pulgadas.
4. Utilizando valores de viscosidades para petróleos con mayor API al que se utiliza en el presente trabajo que es de 18° API, observar el impacto en el cálculo del diámetro óptimo.
5. Considerar los costos del estudio de impacto ambiental para obtener un valor final más cercano a la realidad.

ANEXOS

ANEXO 1

Línea de gradiente hidráulico de flujo, para sistema de bombeo en tubería 24 pulgadas nominal y rugosidad constante, desde los puntos la mancuilla y estación 180 en cantón la Libertad.

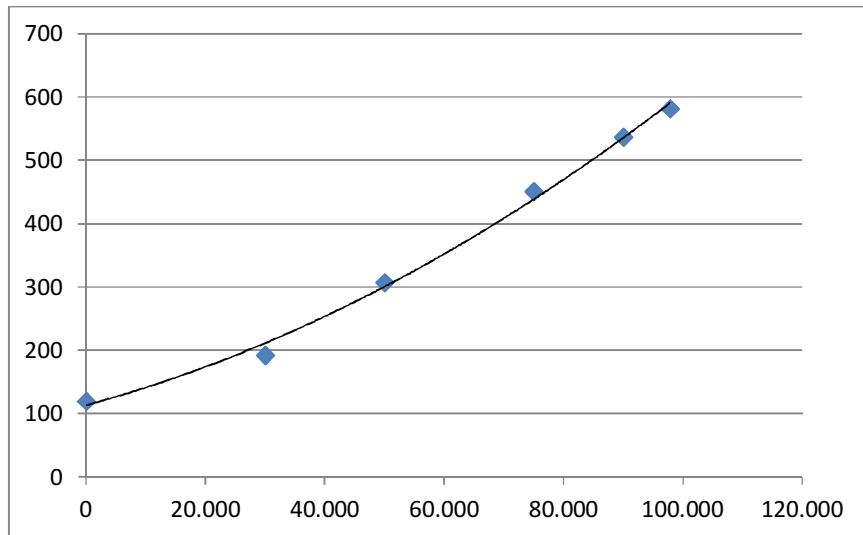


DATOS

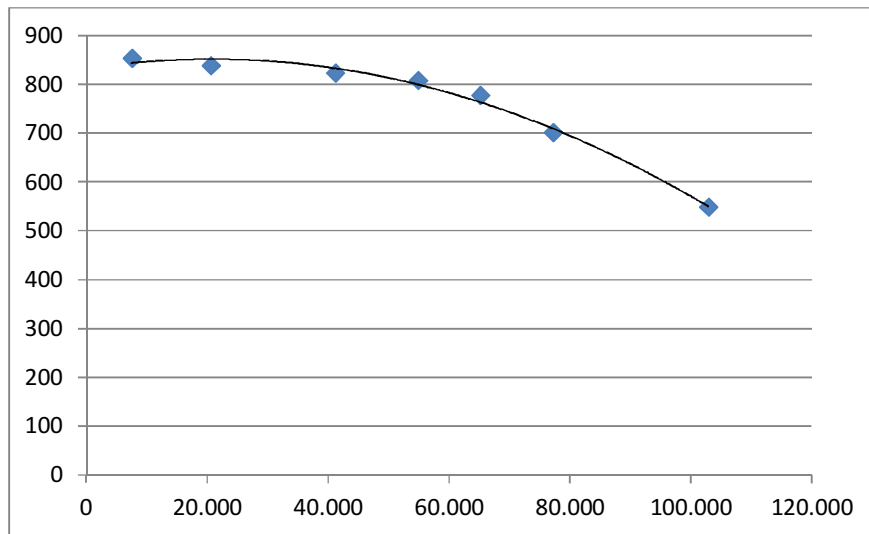
Hd = 461,87 m; Z1 = 120 m; Ht = 581,87 m; Z2 = 20 m; L = 285 km; B = 0,180 m³/s

ANEXO 2

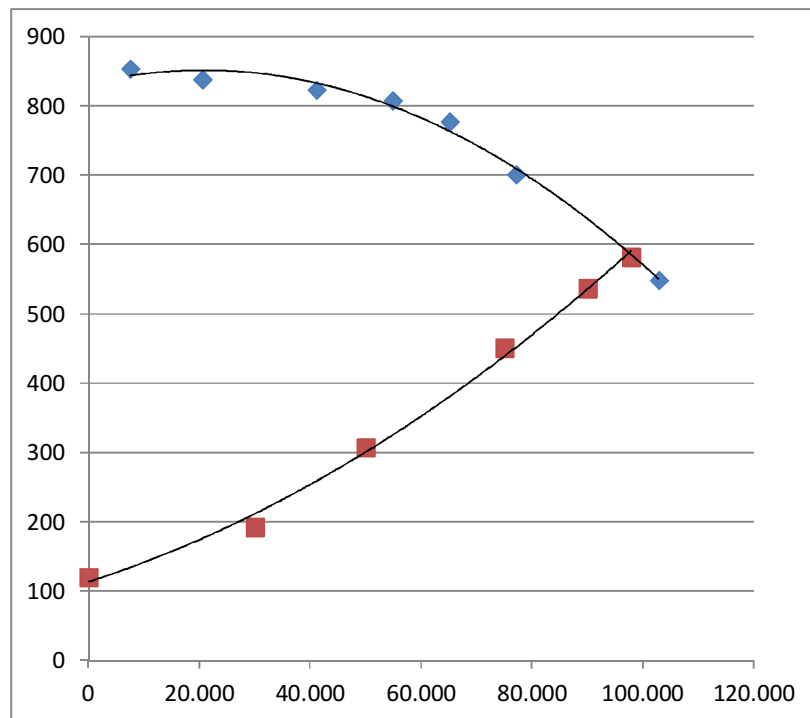
Curva del sistema para una tubería de 24 pulgadas o curva del sistema para vencer las pérdidas por fricción considerando varios caudales.



Curva del sistema de bombeo.



Curvas para el sistema de tubería y bomba indicando el punto de bombeo requerido.



ANEXO 3

CALCULOS PARA DISEÑO DE OLEODUCTO SECUNDARIO POLITO 1					
DATOS DE INGRESO AL PROGRAMA				EQUIVALENCIAS	
Longitud de la Tubería	285.000,0	m		285,00	km
Producción Máxima	0,180	m³/s		97.829,78	bpd
Aceleración de la Gravedad	9,81	m/s²		32,2	pie/s²
Rugosidad Absoluta	0,0000011	m		4,331E-05	pulgadas
Cabezal de Fricción Inicial	700	m		0,7	km
Diferencias entre Cotas	100	m		0,1	km
Coeficientes Perdidas Menores	210	Adimensional		0,21	Adimensional
Diámetro Nominal Inicial	4	pulgadas		0,1016	m
Gravedad	18	API			
ρ (191°F)	946,5	kg/m³			
μ (191°F)	2,650E-01	Pa.s		2,650E-04	centi poise
ν (191°F)	2,800E-04	m²/s		280	centi stokes
Incremento de Diámetro	2	pulgadas			

Hf	Di	v	B	B>Bd	Hm
m	pulgadas	m/s	m³/s	Converge	m
700,00	4	0,140639	0,001140	no	0,211706
700,00	6	0,217519	0,003966	no	0,506423
700,00	8	0,288258	0,009343	no	0,889373
700,00	10	0,354447	0,017951	no	1,344693
700,00	12	0,417066	0,030416	no	1,861786
700,00	14	0,476773	0,047327	no	2,433011
700,00	16	0,534038	0,069239	no	3,052568
700,00	18	0,589211	0,096684	no	3,715882
700,00	20	0,642560	0,130170	no	4,419244
700,00	22	0,694300	0,170188	no	5,159581
700,00	24	0,744602	0,217212	si	5,934295
694,07	24	0,740808	0,216105	si	5,873976
694,13	24	0,740847	0,216117	si	5,874589
694,13	24	0,740847	0,216117	si	5,874583

ANEXO 4

CALCULO DEL NUMERO DE REYNOLDS Y EL FACTOR DE FRICCION UTILIZANDO: WEISBACH Y HAGEN-POISEUILLE PARA FLUJO LAMINAR O NEWTON MEJORADO PARA RESOLVER LA ECUACION DE COLEBROOK - WHITE PARA FLUJO TURBULENTO.				
DATOS DE INGRESO AL PROGRAMA				
Cota Inicial	120	m		
Cota final	20	m		
Gravedad	9,81	m/s ²		
Rugosidad Absoluta	4,33071E-07	m	0,0000011	pulgadas
Caudal	0,180	m ³ /s	97.828,20	bpd
Longitud	285.000,0	m	285	km
Diámetro Nominal	0,6096	m	24	pulgadas
°API	18			
ρ	946,5	kg/m ³		
u	2,80E-04	m ² /s		
Área	2,92E-01	m ²		
Velocidad	0,62	m/s		

OBTENCION DEL NUMERO DE REYNOLDS UTILIZANDO EL DIAMETRO CALCULADO Y EL CAUDAL DE PRODUCCION MAXIMA			
Reynolds	1.343,4	Tipo de Flujo: Laminar	
Factor de Fricción:		f =	0,0476

PERDIDA TOTAL POR FRICCION UTILIZANDO DARCY - WEISBACH		
Hf	432,20	m

CABEZAL TOTAL POR PERDIDAS MENORES CONSIDERANDO EL EQUIVALENTE AL 30% DE LAS PERDIDAS TOTALES		
Hm	129,66	m

CABEZAL DE DESCARGA NECESARIO PARA ALCANZAR LA COTA FINAL O PUNTO DE LLEGADA		
Hd	461,87	m

POTENCIA REQUERIDA PARA EL SISTEMA DE MOTOR Y BOMBA		
HP	771,92	Kwatos

CALCULO DEL CABEZAL TOTAL PARA UN DIAMETRO DE 24 PULGADAS UTILIZANDO DIFERENTES CAUDALES. PARA LA OBTENCION DE LA CURVA DEL SISTEMA							
B	v	Re	fr	Hf	Hm	Hd	Ht
bpd	m/s	Adim	Adim	m	M	m	m
0	0	0	0	0	0	0	120
30.000	0,19	412,0	0,1553	132,55	39,77	72,32	192,32
50.000	0,32	686,6	0,0932	220,92	66,28	187,20	307,20
75.000	0,47	1.030,0	0,0621	331,38	99,42	330,80	450,80
90.000	0,57	1.236,0	0,0518	397,66	119,30	416,96	536,96
97.828	0,62	1.343,5	0,0476	432,25	129,67	461,92	581,92

**DATOS DEL FABRICANTE DE UN SISTEMA DE BOMBEO PROPUESTO
PARA UTILIZAR CON TUBERIA DE 24 PULGADAS. FLUIDO: AGUA.**

INFORMACION ACERCA DE LA CURVA DE LA BOMBA	
CAUDAL	DESCARGA
BPD	METROS
7.543	854
20.571	838
41.143	823
54.857	808
65.143	777
77.143	701
102.857	549

ANEXO 5

Curvas de tres sistemas de tuberías para diámetros de 18, 20 y 24 pulgadas para relacionar incrementos en cabezales y costos por bombeo.

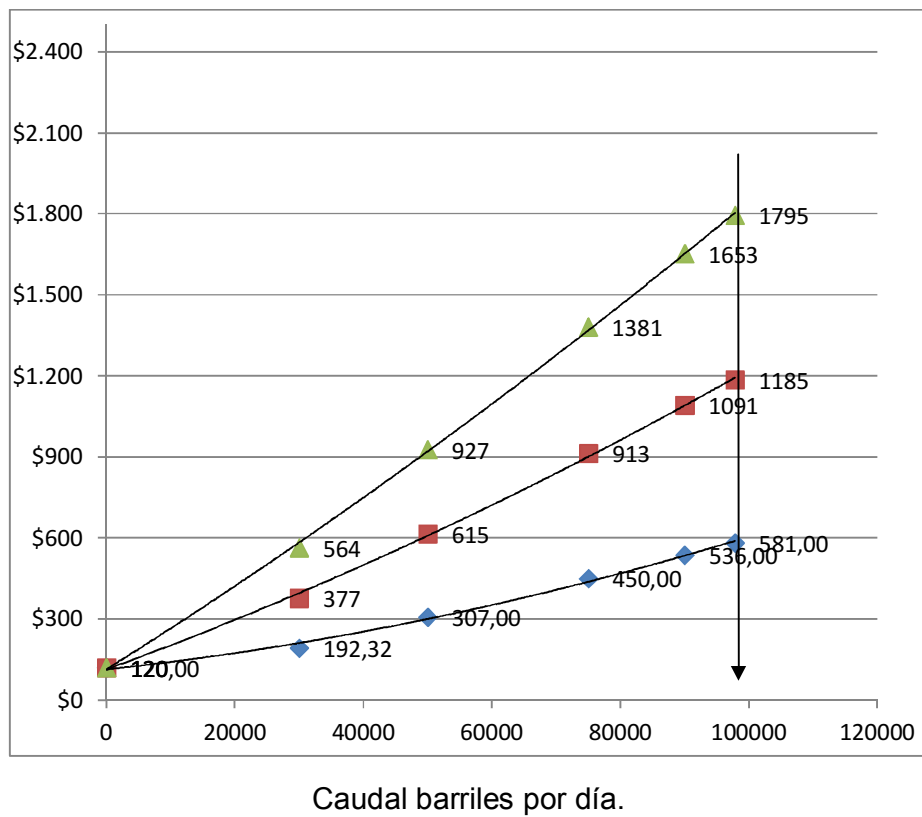
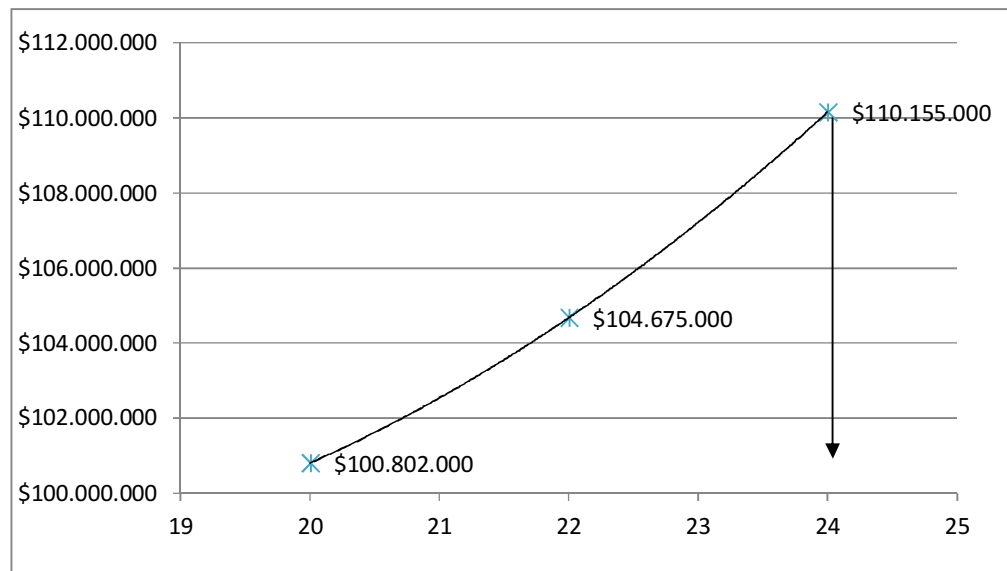


Tabla de valores aproximados para costos de bombas

SISTEMA DE TUBERIAS			COSTOS POR 2 BOMBAS	
DIAMETROS	CAUDAL REQUERIDO	Hb	POTENCIA	COSTO
PULGADAS	M ³ /s	M	KILO WATTS	DOLARES
18	0,18	1795	3000	\$1.052.00
20	0,18	1185	1980	\$650.000
24	0,18	581	971	\$430.000

Costos totales de las combinaciones de la alternativa tuberías bombas y costos.



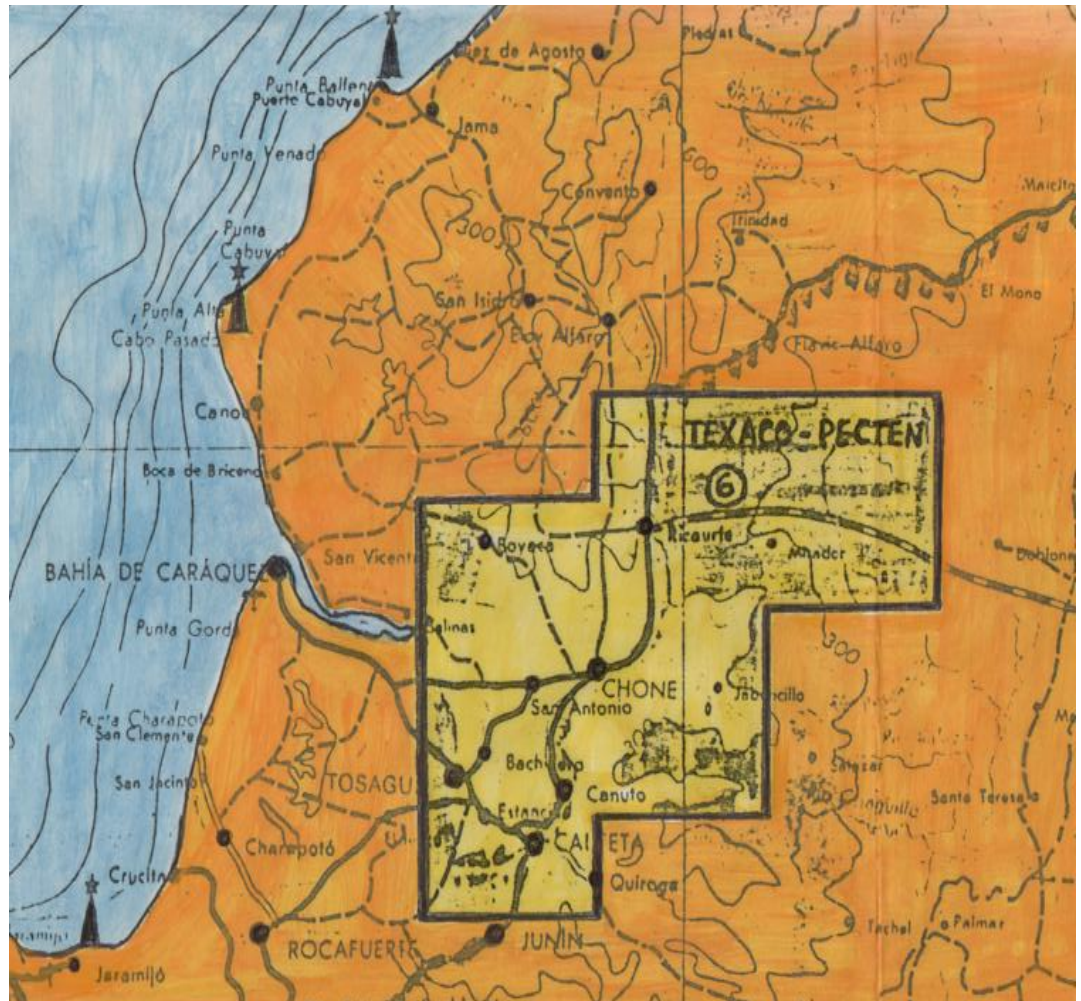
Diámetros en pulgadas.

Cálculos para transporte por barril en oleoducto.

TIEMPO ESTIMADO PARA LA VIDA DEL PROYECTO: 25 AÑOS				
COSTO DEL OLEODUCTO	7% ANUAL POR INTERESES	PRODUCTO INMOVILIZADO	COSTO POR MANTENIMIENTO	TOTAL
\$110.155.000	\$192.771.250	\$47.066.144	\$27.538.750	\$377.531.144

VALORES APROXIMADOS DE	
PRODUCCIÓN	TRANSPORTE
BARRILES	DÓLAR/BARRIL
912.500.000	\$0,41

MAPA 1



MAPA 2



BIBLIOGRAFIA

1. Cameron Hidráulica Data.

C.R .Westaway .

A.W .Loowis.

Ingersoll - Rand .

Fifteenth Edition - First Printing / 77 .

and Sixteenth Edition - Third Printing / 84.

2. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidraulicas .

Claudio Mataix.

Copyright 1970.

3. Productions Operations Division.

Exxon Productions Research Company.

April 1982.

4. Apuntes de Bombeo y Compresión.

Alfonso Rosales Rivera.

Manuel Falcón Felix.

Universidad Autónoma de México, Facultad de Ingeniería , Departamento

Exploración de Petróleos.

1983.

5. Proyecto y Construcción del Oleoducto - Poza Rica- Naranjo - México.

Luis Pineda Fonseca .

Instituto Politécnico Nacional.

- 6 . Fricción Factor for Pipe Flow.

Lewis F. Moody, Princeton , N. Y.

Transaction of the A .S .M . E .

Nov. / 84.

7. Datos Obtenidos en CEPE ,Informe por ENCITRA,
Proyecto Monteverde - Atahualpa.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.