

“DISEÑO DE UN OLEODUCTO SECUNDARIO DESDE UN CAMPO PETROLERO HASTA LA ESTACION DE RECOLECCION Y BOMBEO”

Ing. Keneeth Mejía Balseca, MSc.⁽¹⁾, Ing. Daniel Tapia Falconí⁽²⁾, Ing. Ricardo Gallegos Orta⁽³⁾,
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
Km. 30,5 Vía Perimetral, 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
keneethmejia1957@yahoo.com⁽¹⁾, dtapia@espol.edu.ec⁽²⁾, vgallego@espol.edu.ec⁽³⁾

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.

Palabras Claves: Número de Reynolds, diámetro óptimo de la tubería

Abstract

This work brings into account a calculation procedure for obtaining the optimal diameter of the pipe. The accepted condition is that the fluid is considered incompressible and flows at a constant temperature. The flow rate is a value that is assumed known and is calculated on your order the Reynolds number, flow velocity, friction factor, pressure drop per unit length, the required power and an approximation to the unit cost per barrel of crude oil transported. A unique path was sketched by economic constraints of the work themselves, in the area near the town of Pavon initially place the pumping station and near the end of the population of La Libertad, the other reference populations are: Chone, Portoviejo Jipijapa, Puerto Lopez between main coordinates are entered from the other positions chosen. Not consider environmental impact studies, financial and other related because they are not subject to this work. Finally, does the analysis and discussion of results and diameter defined economic value under the conditions that implies the magnitude of a work of this nature.

Key words: Reynolds number optimal diameter of the pipe

1. Introducción

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.

1.1 Hidráulica

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.

1.2 Flujo de fluidos

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.

Peso específico.

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

ω = Peso/volumen

Densidad Específica o Absoluta.

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

P = Masa/volumen

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. ρ_r = Densidad de una sustancia/densidad del agua

Volumen específico.

Es el recíproco del peso específico

$v = 1/\omega$

Presión.

Es la relación de la fuerza ejercida por un fluido actuando sobre un área determinada. $P = f/A$

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.

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.

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.

2. Diseño de oleoducto secundario desde el campo Polito II hasta la estación de recolección y bombeo

2.1 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 las 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.

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

2.2.3 Datos del Programa.

- B, Caudal
- D_i , Diámetro
- e , Rugosidad absoluta
- L , Longitud de la tubería
- Z_2 , Cota final o altura de llegada de la tubería
- H_f , Cabezal de fricción inicial

g) ΔD_i , Factor que incrementa el valor del diámetro

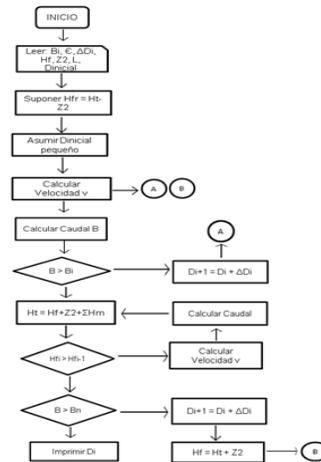
h) EPS, diferencia permitida entre dos cálculos realizados sucesivamente.

2.2.4 Ecuaciones que se utilizan.

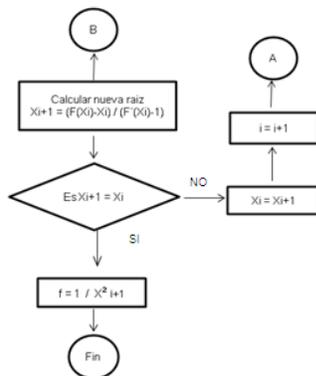
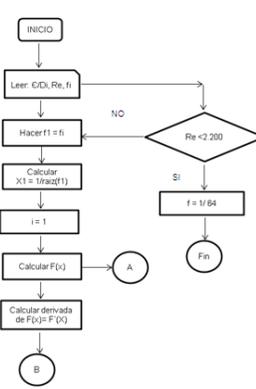
$$v = \left(\frac{2gD_i h_f}{L} \right)^{1/2} \log_{10} \left(\frac{e}{3.7D_i} + \frac{2.71v}{L} \right)$$

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

2.2.5 Diagrama del flujo del programa



2.2.6 Diagrama de la subrutina



3.1 Bases para los cálculos de los costos.

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

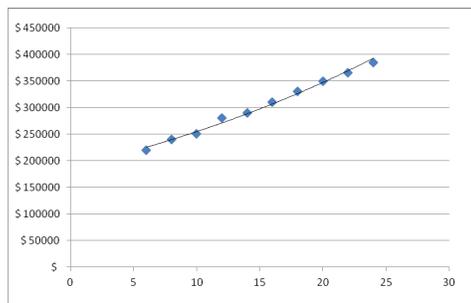
a) Costo de la tubería.

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

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 kilómetro 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

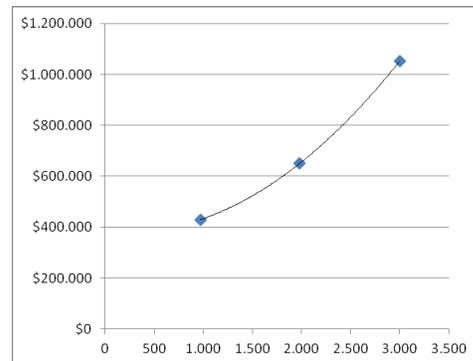
mayor potencia aumentando los costos y viceversa cuando el diámetro aumenta.

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

Variación de los costos unitarios de las

B (bpd)	Hb (m)		
	24 "	20 "	18 "
CAUDAL			
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

bombas según la potencia requerida para diámetros de 18, 20 y 24 pulgadas.



Calculo del costo total

COSTOS		COSTOS POR 2 BOMBAS		COSTO
Dia.	Tub.	Pot.	COSTOS	TOTAL
Plg.	\$	Kilo W	\$	\$
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 Cálculo 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

4. Discusión 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.

5. 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.

6. 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.

7. Agradecimientos

Agradezco a mis padres, al Ing. Xavier Vargas, Ing. Daniel Tapia por su invaluable información que hizo posible el desarrollo de esta tesis

8. Bibliografía

1. Cameron Hidráulica Data.
C.R .West away. A.W .Loowis.
Ingersoll - Rand. Fifteenth Edition
- First Printing / 77. And Sixteenth
Edition - Third Printing / 84.
2. Mecánica de Fluidos y Máquinas
Hidráulicas. 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.

9. Anexos



Mapa Zona

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.