

## **CAPÍTULO 6 SIMULACIÓN**

### **6.1 Introducción**

En la época actual es indispensable el uso de herramientas para facilitar el diseño de ductos para el transporte de hidrocarburos y que este sea eficiente y funcional.

El desarrollo tecnológico ha permitido el desarrollo de programas que permiten hacer la simulación del flujo a través de las tuberías y conocer el comportamiento del flujo, así como la influencia de los diferentes parámetros de diseño y como pueden modificar las condiciones operativas.

Utilizando el programa de cómputo PIPESIM se analizó una línea para transportar hidrocarburos tomando en cuenta las diferentes variables que modifican el desempeño del sistema. A continuación se presenta de manera detallada el proceso de simulación que se llevó a cabo para escoger las condiciones óptimas.

### **6.2 Objetivo**

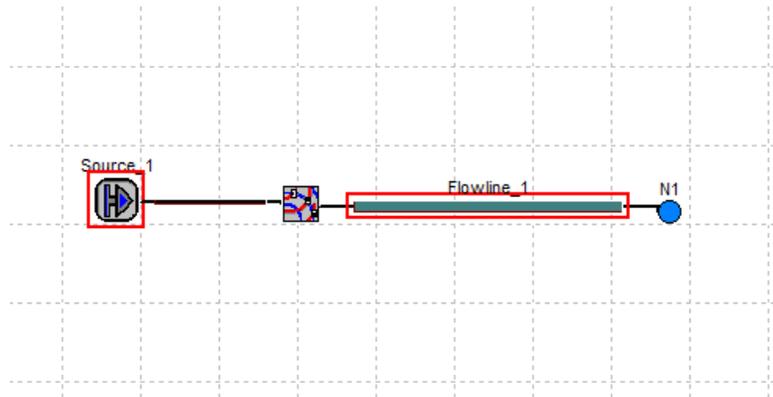
Determinar, a través de la simulación del flujo, el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de operación, así como la ventaja que otorga el uso de un programa de diseño para minimizar el tiempo y optimizar los resultados.

Para lograrlo se establecerán las propiedades del sistema y se harán simulaciones variando los parámetros de diseño, como son el diámetro interno de la tubería, la densidad del fluido, las presiones de entrada y salida, la elevación y el gasto que fluye a través de la tubería y se analizará el impacto que tiene cada uno de ellos.

### **6.3 Ejemplo 1**

El primer paso es crear un nuevo proyecto de análisis de tuberías, determinar algunos parámetros para la simulación y escoger los componentes que estarán involucrados en el proceso. En este caso se estudiará únicamente el comportamiento del flujo a través de una tubería sencilla que transporta hidrocarburos desde un punto de origen A hasta un punto de destino B.

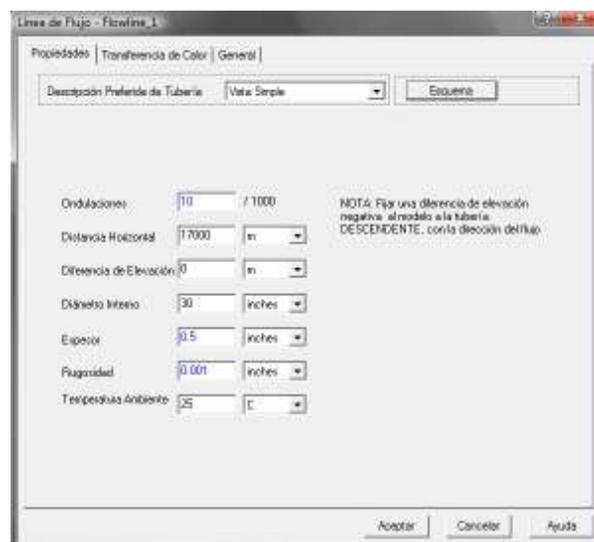
Para empezar se seleccionó únicamente una tubería que irá en línea recta entre los dos puntos para poder analizar los efectos que tienen las diferentes variables de diseño sobre el desempeño del sistema.



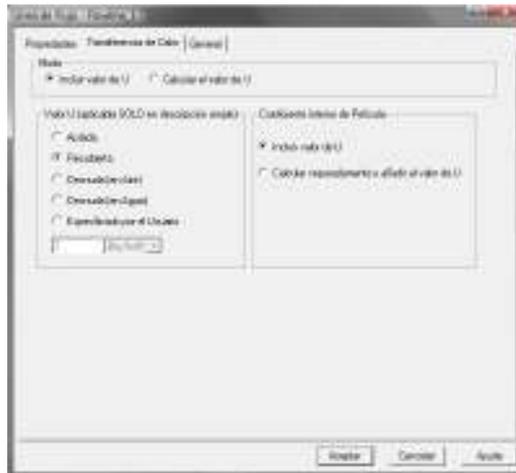
Después se determinan los parámetros para cada uno de los componentes del sistema, así como el modelo del fluido que es transportado a través de la tubería.

Se establece el modelo del fluido en el programa como aceite negro, y se le asigna un valor de 35°API y una relación gas-aceite de  $285[m^3/m^3]$ .

Se establecen también las propiedades de longitud de la línea, temperatura ambiente y las condiciones de la tubería, como se especifica en la figura:

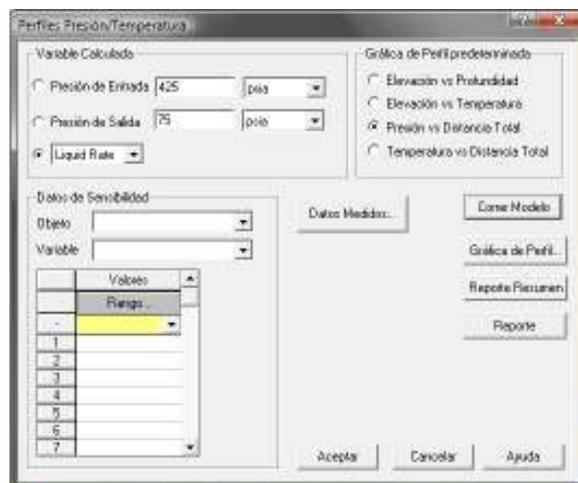


Por tanto, entre el punto A y el B existe una distancia de 17 [km], que es la longitud total de la línea, el diámetro interno es de 30 [pg], el espesor de la pared se fijó 0.5 [pg], la temperatura ambiente es de 25 [°C] y, para este primer caso, la elevación es nula.



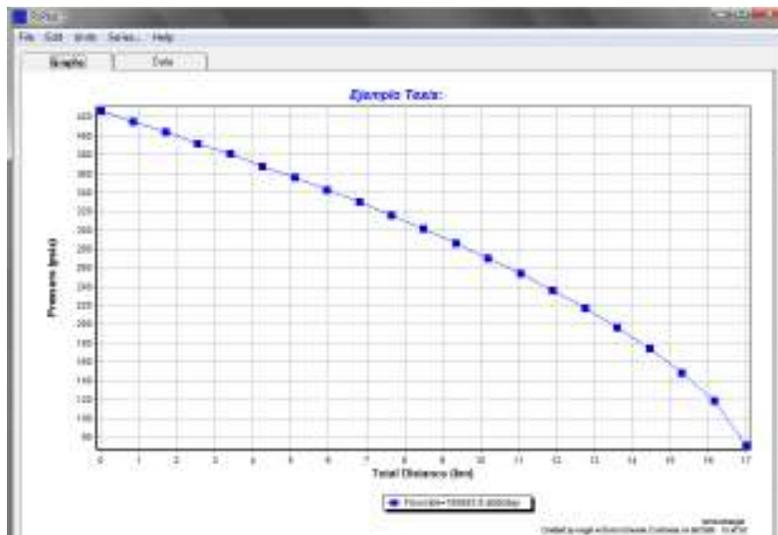
También se establece que la tubería tiene un recubrimiento que permite una interacción moderada con el medio ambiente y por lo tanto interviene la transferencia de calor, a razón de 2 [BTU/hr/pies<sup>2</sup>/F].

Se conoce que la presión en el punto A es de 425 [psia] y los requerimientos del proyecto nos indican que la presión en el punto B debe ser de 75 [psia]. Es necesario conocer el gasto que podrá manejar la línea bajo estas condiciones, para lo cual se calculará el perfil de presiones.

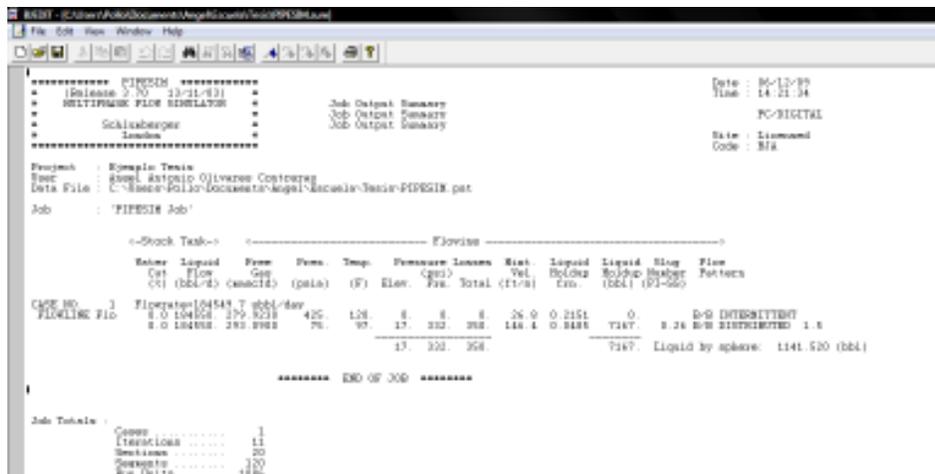


Al correr el modelo de simulación, observamos como la caída de presión que se presenta a lo largo de la trayectoria de la línea, así como la longitud total, las condiciones de la tubería y las del fluido influyen directamente en el flujo que puede ser transportado. Se observa que bajo estas condiciones, el **gasto** que puede manejarse a través del ducto es de **185693.8 [bpd]**.

La siguiente gráfica muestra el perfil de presión de la línea, así como el cálculo del gasto que puede manejarse a esas condiciones:



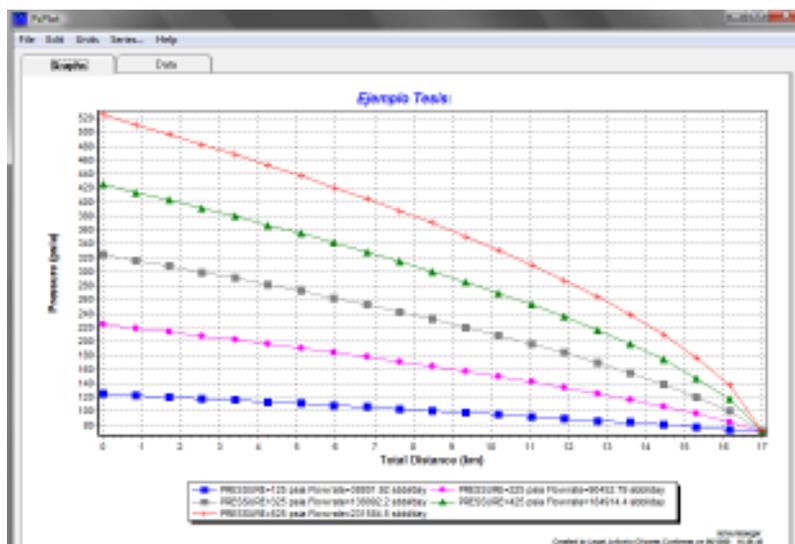
Y el reporte de la operación efectuada por el simulador, es el siguiente:



### 6.3.1 Variación de la presión de entrada

Se varía el valor de la presión de entrada (punto A) para conocer su efecto con respecto al gasto que puede ser manejado por la línea, los resultados pueden observarse en la siguiente tabla y en la gráfica:

Presión de entrada [psia]	Gasto [bpd]
125	38801.92
225	90452.79
325	138092.2
425	184591.4
525	231584.5

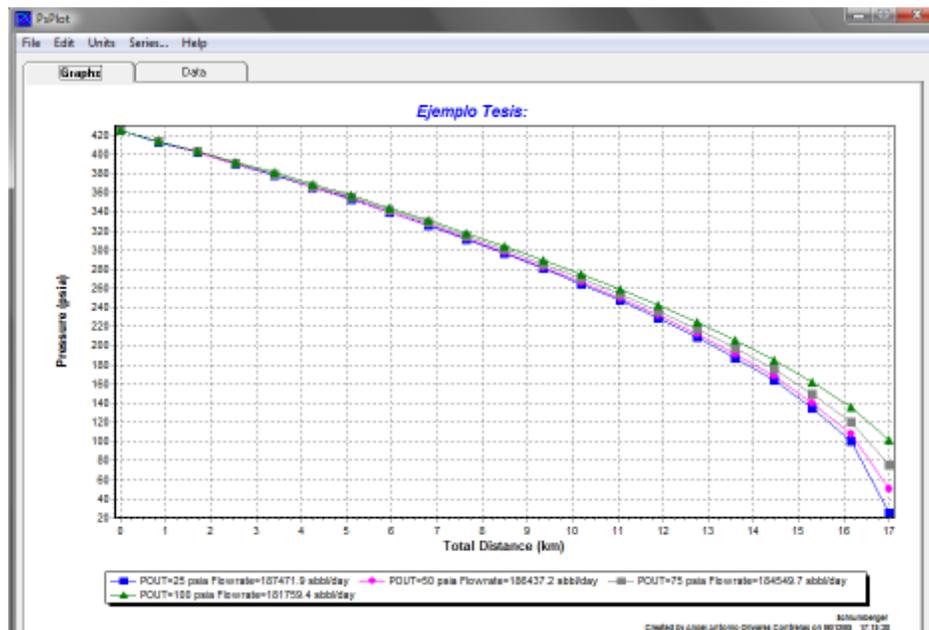


Se concluye que a medida que aumenta la presión de entrada (presión en el punto A), aumenta también el gasto que puede manejar la línea ya que el fluido cuenta con mayor energía para moverse a lo largo de toda la tubería.

6.3.2 Variación de la presión de salida

Por otro lado, si se varía la presión de salida (presión en el punto B) se obtienen los siguientes resultados:

Presión de Salida [psia]	Gasto [bpd]
25	187471.9
50	186437.2
75	184549.7
100	181759.4



Por lo que se deduce que mientras menor sea la presión a la salida (presión en el punto B), mayor será el gasto que podrá manejar la línea, debido a que los fluidos siempre tienden a moverse de una zona de mayor presión a una de menor presión, por lo que al disminuir la presión a la salida de la línea, se facilita el flujo.

### 6.3.3 Variación de la elevación

Si lo que se varía es la elevación entre el punto A y el punto B de la tubería, se obtiene la siguiente tabla de resultados:

<b>Diferencia de elevación [m]</b>	<b>Gasto [bpd]</b>
-500	189641
-100	188643
0	185693
100	181391
500	155786

De acuerdo a los resultados, se concluye que cuando la tubería va ascendiendo y la diferencia de elevación es positiva, el gasto que puede manejar la línea disminuye, ya que el flujo se vuelve más complicado y se requiere de una mayor energía para mover el fluido, por el contrario, cuando la tubería tiene una diferencia de elevación negativa, que va descendiendo, el gasto posible aumenta, aunque no en gran medida.

### 6.3.4 Variación del diámetro interno

Es posible conocer también el efecto que tiene la variación del diámetro interno del ducto respecto al gasto que puede manejar la línea, como se puede ver a continuación:

<b>Diámetro Interno [pg]</b>	<b>Gasto [bpd]</b>
10	9586.57
20	61769.74
30	180391.10
40	383649.60
50	687111.11

Mientras aumenta el diámetro interno del ducto, también lo hace el gasto que puede manejar la línea con el mismo diferencial de presión que establecimos al principio del ejercicio, esto es debido a que al aumentar el diámetro interno, es más fácil para el fluido desplazarse por el interior de los ductos y disminuyen las caídas de presión por fricción.

### 6.3.5 Variación de la densidad del fluido

Para conocer el efecto que tiene la variación de la densidad, se modifica el valor de los °API del fluido y se observa el efecto que tiene sobre el gasto que puede manejar la línea. Se hizo la simulación para diferentes valores, dejando fijas las presiones de entrada y salida en 425 [psia] y 75 [psia] respectivamente, lo que arrojó los siguientes resultados:

<b>[°API]</b>	<b>Gasto [bpd]</b>
10	197886.9
20	223489.3
30	263302.8
40	287113.7
50	303195.8

Por lo tanto, a mayor valor en °API del fluido, mayor es el gasto que se puede transportar a través de la línea.

### 6.3.6 Variación de la longitud de la línea

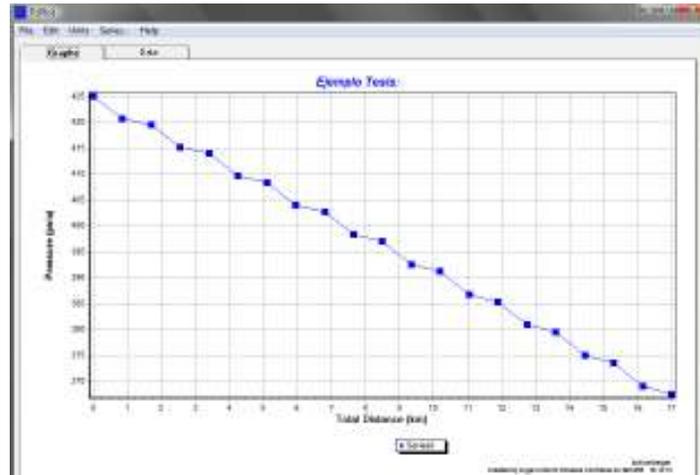
Otro parámetro a tener en cuenta dentro del diseño es la longitud de la línea, por lo que se analizó su impacto en el gasto que puede manejarse. Manteniendo fijas las presiones de entrada y salida en 425 [psia] y 75 [psia] respectivamente, y la densidad del fluido en 35 [°API] se obtuvieron los siguientes resultados:

<b>Longitud de la línea [Km]</b>	<b>Gasto [bpd]</b>
5	529858.6
10	369121.8
15	263302.8
20	252384.6
25	221753.3

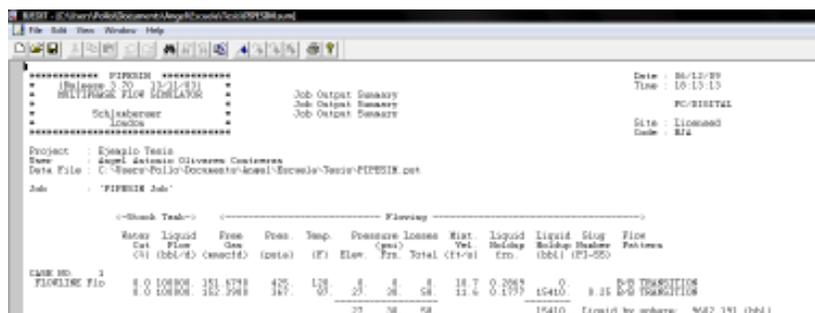
Con lo que se concluye que mientras más larga es la línea y, por lo tanto, más distancia tiene que recorrer el fluido, el gasto que puede manejarse es menor.

### 6.3.7 Cálculo de las caídas de presión

En el diseño de ductos, una parte importante es conocer las caídas de presión que se generarán a lo largo de la línea, y esto también se puede hacer utilizando el simulador. Utilizando el mismo sistema que establecimos, pero dejando ahora como datos fijos la presión de entrada y el gasto que se estará manejando, en este caso 100 000 [bpd] será posible conocer la variación que se tendrá entre las presiones del punto A y el punto B. Estableciendo la presión de entrada (punto A) en 425 [psia] y el gasto en 100 000 [bpd], la simulación nos arroja un valor para la **presión de salida (punto B) de 367 [psia]**, lo que representa una **caída de presión ( $\Delta P$ ) de 58 [psia]**.



El perfil de presión y el reporte de la simulación permiten observar a detalle el comportamiento del flujo a través de la tubería.



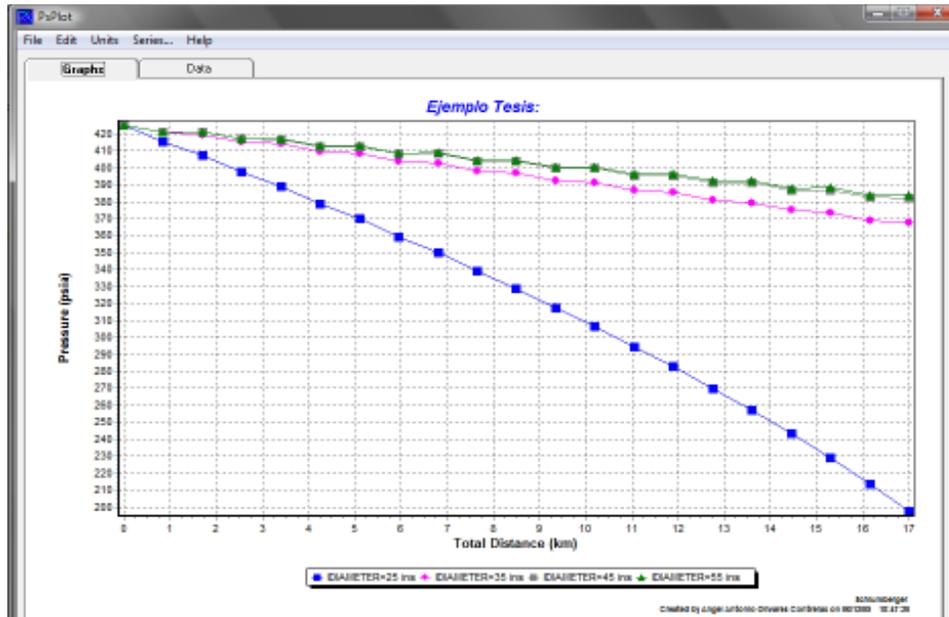
*Variando el diámetro de la tubería*

Variando el diámetro de la tubería se puede definir el impacto de este parámetro sobre las caídas de presión a lo largo de la línea, lo que permite hacer la selección del diámetro óptimo acorde a las especificaciones del proyecto.

En la siguiente tabla se puede observar la variación de la presión de salida cuando se modifica el diámetro interno de la tubería cuando el gasto es de 100 000 [bpd]:

Diámetro Interno [pg]	Presión de Salida [psia]	$\Delta P$ [psia]
25	197	228
35	367	58
45	382	43
55	384	41

El perfil de presiones queda como sigue:



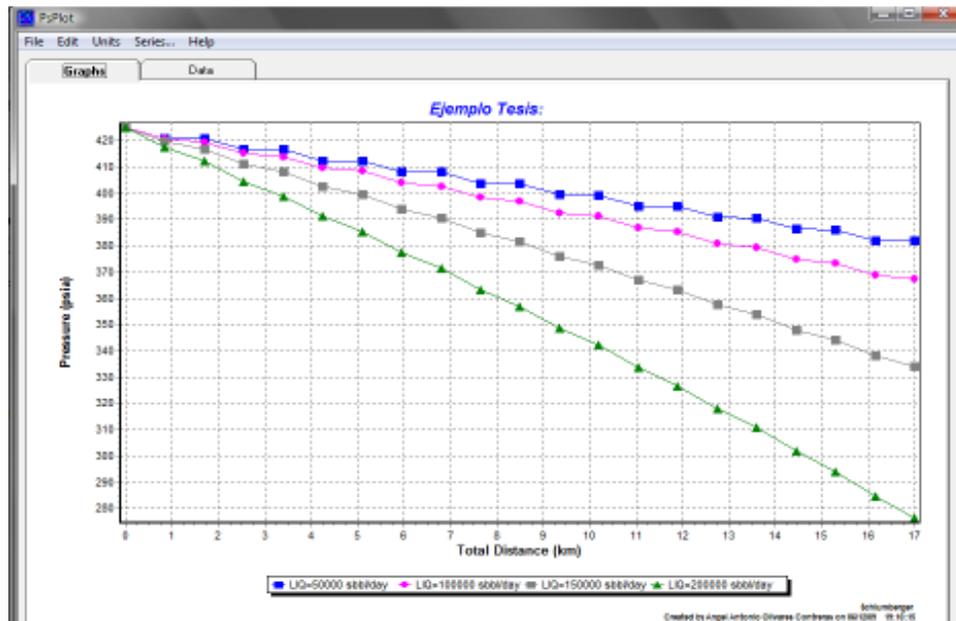
Se observa que al aumentar el diámetro interno de la tubería las caídas de presión son menores ya que se reducen las pérdidas por fricción.

*Variando el gasto*

Ahora se varía el gasto para determinar la influencia que tiene sobre las caídas de presión del sistema, dejando fija la presión en el punto A (425 [psia]):

Gasto [bpd]	Presión de Salida [psia]	$\Delta P$ [psia]
50000	382	43
100000	367	58
150000	334	91
200000	276	149

Con el siguiente perfil de presiones:



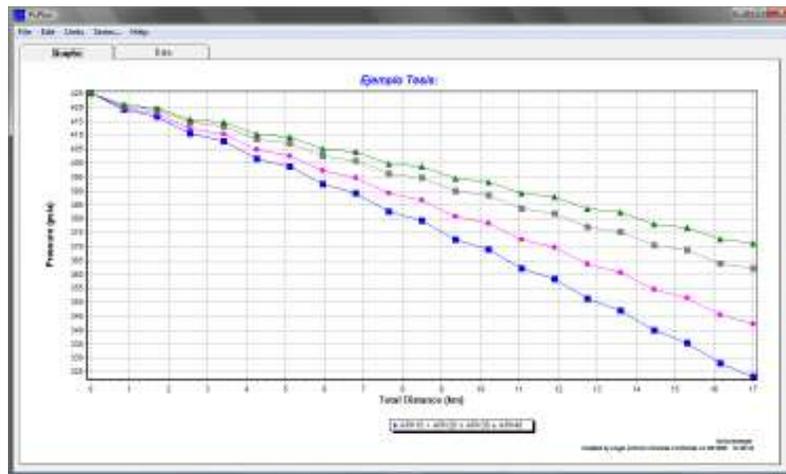
Lo que demuestra que al aumentar el gasto, también aumentan las caídas de presión a lo largo de la tubería, ya que se requiere más energía para transportar un mayor volumen.

*Variando la densidad del fluido*

Dejando fijo el gasto en 100 000 [bpd] así como la presión de entrada en 425 [psia], se varía la densidad del fluido y se analiza su efecto en las caídas de presión del sistema:

[°API]	Presión de Salida [psia]	$\Delta P$ [psia]
10	323	102
20	342	83
30	362	63
40	371	54

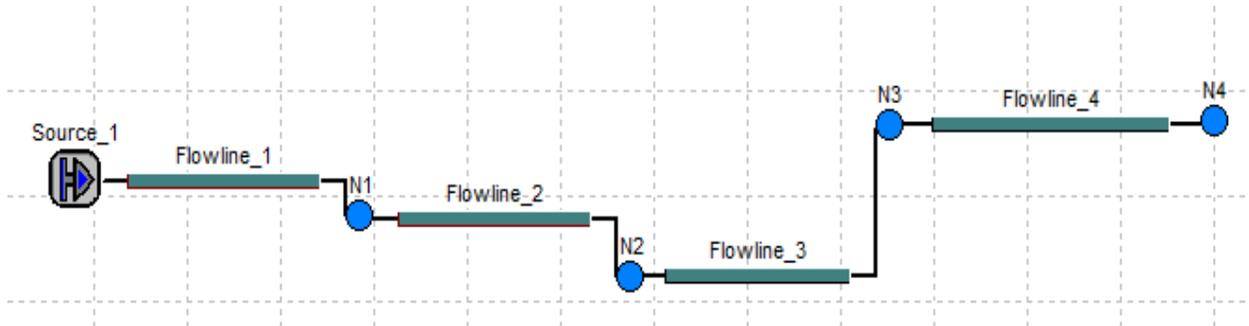
Se obtiene el siguiente perfil de presiones:



Al disminuir la densidad del fluido, o sea, al tener un hidrocarburo más ligero, las caídas de presión son cada vez menores, ya que es mucho más fácil fluir a través de la línea.

**6.4 Ejemplo 2**

También es posible realizar la simulación de líneas con una geometría más compleja, como la que se muestra a continuación:



En esta línea va variando la elevación a lo largo del trayecto, se pueden diferenciar 4 diferentes segmentos, el primero tiene una elevación nula, el segundo y el tercero van descendiendo, mientras que el cuarto se va elevando.

El perfil de la línea es el siguiente:

X [m]	Y [m]
0	0
3000	0
7000	-250
10000	-500
17000	500

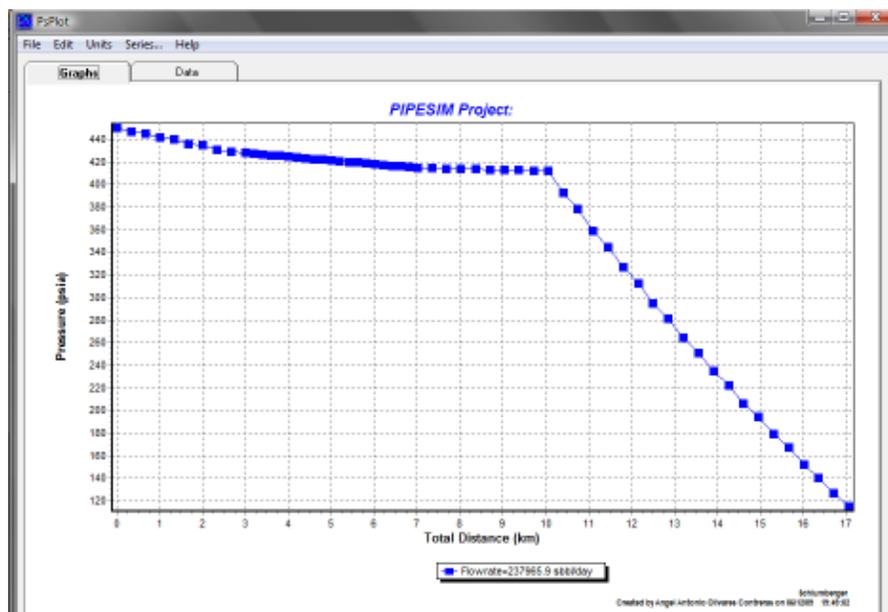
Otra vez se está manejando un fluido de 35°API, con una Relación gas-aceite de 285  $[m^3/m^3]$  y temperatura ambiente de 25  $[^{\circ}C]$ . El espesor de pared de la tubería es de 0.5[pg] y se establece que la tubería tiene un recubrimiento que permite una interacción moderada con el medio ambiente y por lo tanto interviene la transferencia de calor, a razón de 2  $[BTU/hr/pies^2/F]$ .

La línea tiene una longitud total de 17 [km], el primer segmento comprende de los 0 a los 3 [km], el segundo de los 3 a los 7 [km], el tercero de 7 a 10 [km] y el cuarto de los 10 a los 17 [km].

Para conocer el gasto que puede manejar la línea vamos a fijar la presión de entrada en 450 [psia] y la de salida en 115 [psia]. Se maneja un diámetro interno en toda la línea de 30 [pg].

Corriendo el modelo obtenemos que la línea puede manejar un **gasto de 237965.9 [bpd]** y se observa que cuando la línea es horizontal o descendente, las caídas de presión son pequeñas, mientras que al empezar a ascender, las caídas de presión se vuelven mucho más grandes.

El perfil de presión queda de la siguiente manera:

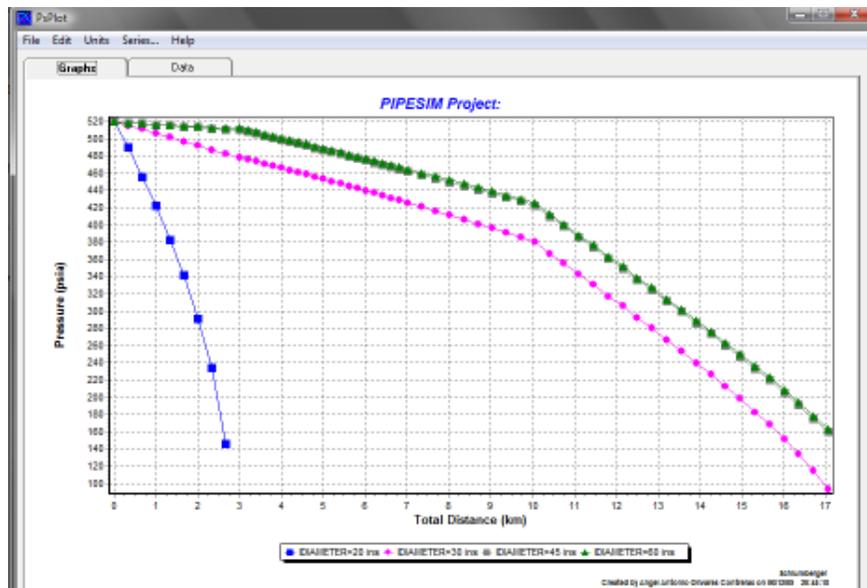


6.4.1 Variación del diámetro interno

A continuación se va a fijar el gasto que pasa a través de la tubería en 200 000 [bpd], la presión de entrada en 520[psia] y a variar el diámetro interno de toda la línea para determinar su impacto en las caídas de presión:

Diámetro Interno [pg]	Presión de Salida [psia]	$\Delta P$ [psia]
20	No	No
30	93	427
45	160	360
60	163	357

Y el perfil de presiones queda así:



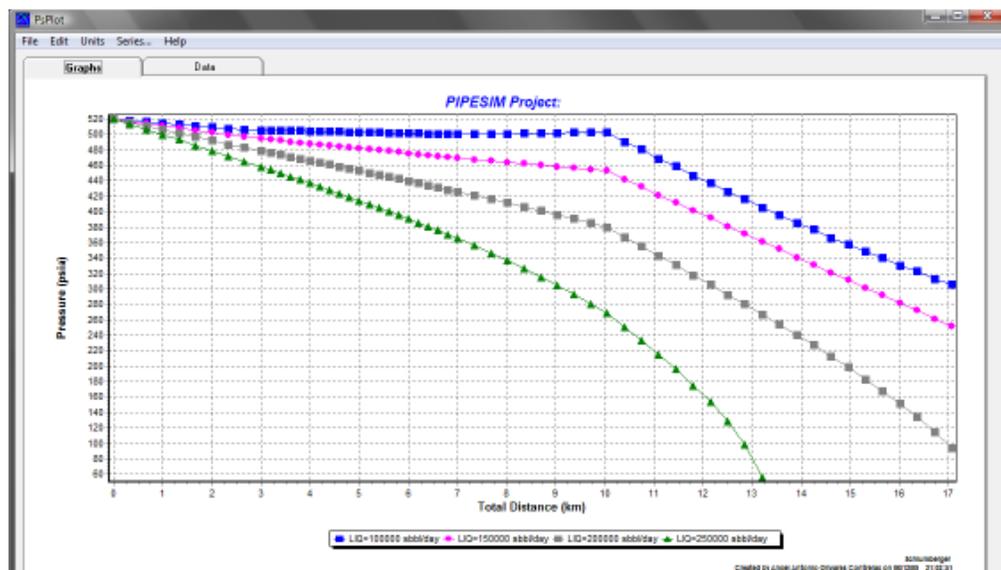
Por tanto, con estas condiciones el diámetro de 20 [pg] no es aplicable, ya que no cumple con los requisitos de diseño, mientras que el de 30 [pg] presenta una caída de presión muy alta. Los diámetros de 45 y 60 [pg] muestran un comportamiento casi idéntico, por lo que cualquiera de los dos podría ser seleccionado como diámetro óptimo.

6.4.2 Variación del gasto

Se deja la presión de entrada fija en 520 [psia] y el diámetro interno en 35 [pg]. Se varía el gasto y se determinan las caídas de presión.

Gasto [bpd]	Presión de Salida [psia]	$\Delta P$ [psia]
100000	306	43
150000	252	58
200000	93	91
250000	No	No

Y el perfil de presiones es el siguiente:



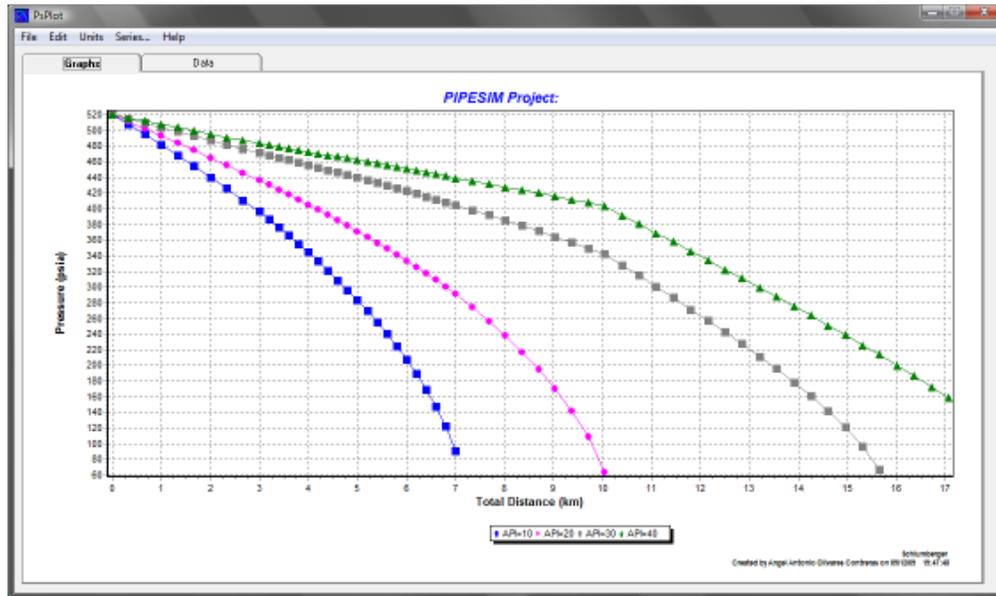
Se observa que el gasto de 250000 [bpd] no puede ser manejado por la línea bajo estas condiciones, mientras que en el de 200000 [bpd] la caída de presión es muy pronunciada, pero la línea puede operar sin problema. Para los gastos de 150000 y 100000 [bpd] las caídas de presión son más pequeñas y por tanto estos diámetros otorgan un mejor desempeño.

6.4.3 Variación de la densidad del fluido

Se fija el gasto que pasa a través de la tubería en 200 000 [bpd], la presión de entrada en 520[psia] y se varía la densidad del fluido para determinar su impacto en las caídas de presión:

[°API]	Presión de Salida [psia]	$\Delta P$ [psia]
10	No	No
20	No	No
30	No	No
40	158	362

Y el perfil de presión es el siguiente:



Los resultados nos indican que la línea no puede manejar bajo estas condiciones de operación los fluidos con valores de 10, 20 y 30 [°API], ya que resultan demasiado pesados.

## **6.5 Conclusiones**

1. La presión de entrada proporciona energía al sistema para poder transportar el fluido desde el punto de origen al punto de destino. Una mayor presión a la entrada nos permite manejar un gasto mayor. Es un parámetro importante, ya que modifica en gran medida el desempeño de la línea.
2. La variación en la presión de salida no representa grandes cambios en la cantidad de fluido que puede ser transportado. De cualquier forma, una menor presión de salida significa un pequeño incremento en el gasto máximo de la línea.
3. Cuando se varía la elevación de la línea de forma descendente, se presenta un ligero aumento en el gasto máximo que puede transportar la línea, ya que el flujo se vuelve más fácil, por el contrario, al cambiar la elevación de forma ascendente, el flujo se vuelve mucho más complicado y se presenta un decremento importante en el gasto máximo. Con respecto a las caídas de presión, la elevación de la línea juega un papel vital, ya que una línea descendente tendrá caídas pequeñas de presión, mientras que en una línea ascendente éstas se incrementan hasta hacer inoperante el sistema a menos que se modifiquen los demás parámetros, como aumentar la presión inicial por ejemplo.
4. El diámetro interno resultó el parámetro más determinante para el diseño, ya que haciendo la simulación se demostró que al aumentar su valor, la capacidad de transporte de la línea aumenta también de manera importante. También, en cuanto a las caídas de presión del sistema un diámetro mayor permite disminuir en gran medida la variación de presión entre la entrada y la salida de la línea.
5. Al ir disminuyendo la densidad del fluido, se observa un mejor flujo porque el fluido se va haciendo más ligero, lo que permite manejar un gasto mayor. Resulta también un parámetro importante, ya que sí cambia considerablemente la capacidad de transporte al modificar el valor de la densidad. Para el cálculo de las caídas de presión también resulta fundamental, por que mientras más denso es el fluido, mayor diferencia habrá entre la presión e entrada y la de la salida, por lo que habrá sistemas que no puedan definitivamente manejar fluidos de altas densidades.
6. La longitud de la línea tiene una gran influencia sobre el diseño de la línea, ya que una longitud menor siempre permitirá transportar una mayor cantidad de fluido utilizando menos energía.