



MAY 2019

.UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA**



TITULO DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

**“MODELO PARA CALCULO DE PERDIDAS DE PRESIÓN EN
TUBERÍAS CONDUCTORAS DE AGUA EN RÉGIMEN LAMINAR
Y RÉGIMEN TURBULENTO”**

AUTOR: ALBERTO EMILIO PANANA GIRIO

Callao, 2018

PERÚ

TITULO DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

**“MODELO PARA CALCULO DE PERDIDAS DE PRESIÓN EN TUBERÍAS
CONDUCTORAS DE AGUA EN RÉGIMEN LAMINAR Y RÉGIMEN
TURBULENTO”**

Autor:

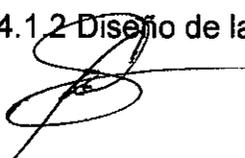
ALBERTO EMILIO PANANA GIRIO

A handwritten signature in black ink, appearing to be the name 'Alberto Emilio Panana Girio', written in a cursive style.

ÍNDICE	PAG 1
RESUME	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 Descripción de la realidad problemática	9
1.2 Formulación del problema	9
1.2.1 Problema general	9
1.2.2 Problemas específicos	10
1.3 Objetivos	10
1.3.1 Objetivo general	10
1.3.2 Objetivos específicos	10
1.4 Limitantes de la investigación (teórico, temporal Espacial)	10
II. MARCO TEORICO	12
2.1 Antecedentes: Internacional y nacional	12
2.2 Bases teóricas	14
2.2.1 Viscosidad y fluidos newtonianos y no newtonianos	15
2.2.2 Flujo de fluidos incomprensibles newtonianos	16
2.2.3 Flujo de fluidos incomprensibles newtonianos a través de conducciones cilíndricas con accesorios	18
2.2.4 Ecuación de conservación de masa, de Bernoulli y de energía	18
2.3 Energía de fluidos en estado estacionario	20
2.4 Flujo en tuberías	21
2.5 Análisis de flujo de fluidos	22
2.5.1 Flujo laminar	22



2.5.2 Flujo turbulento	22
2.5.3 Número de Reynolds	22
2.6 Flujo laminar en tuberías	23
2.6.1 Caída de presión y pérdidas de Carga	25
2.7 Método para determinar el gradiente de presión en tuberías	25
2.7.1 Primer componente	27
2.7.2 Segundo componente	28
2.7.3 Tercer componente	28
2.7.4 Cuarto componente	29
2.8 Cálculos para la determinación de la caída de presión en régimen	
De flujo laminar y turbulento	30
2.8.1 Determinación de la caída de presión en tuberías en régimen de flujo laminar	30
2.8.2 Calculo de caída de presión, la razón de flujo, determinación del Diámetro tubería en régimen turbulento	31
2.9 Definición de términos básicos	37
III HIPOTESIS Y VARIABLES	38
3.1 Hipótesis general	38
3.2 Hipótesis específicas	38
3.4.1 Operacionalización de variables	39
3.4 Definición de variables	40
IV DISEÑO METODOLOGICO	41
4.1 Tipo y diseño de la investigación	41
4.1.1 Tipo de investigación	41
4.1.2 Diseño de la investigación	41



4.2 Población y muestra	41
4.2.1 Población	41
4.2.2 Muestra	42
4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información documentada	42
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de la información de Campo	42
4.5 Análisis y procedimiento de datos	43
V. RESULTADOS	
5,1 Resultados descriptivos	46
5.2 Procedimiento para la evaluación de la velocidad y el número de Reynolds	47
5.3 Comparación de resultado de la caída de presión con otras situaciones similares	49
5.4 Cálculo de la calidad de presión mediante la ecuación del modelo Obtenido	50
VI. DISCUSION DE RESULTADOS	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	57
ANEXOS	60
Matriz de consistencia	
Otros anexos necesarios	



INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 RESULTADOS DE LOS VALORES OBTENIDOS POR EL MÉTODO ITERATIVO DEL FACTOR DE FRICCIÓN	36
TABLA N° 2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES	39
TABLA N° 3 MÉTODO ITERATIVO PARA OBTENER EL FACTOR DE FRICCIÓN	44
TABLA N°4 CALCULOS REALIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA DE PRESIÓN PARA DIFERENTES LONGITUDES DE TUBERÍAS	48
TABLA N°5 CÁLCULOS REALIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA DE PRESIÓN PARA DIFERENTES LONGITUDES DE TUBERÍAS (5, 10, 100, 1000 METROS)	50



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° .1 FIGURA PARA OBTENER EL MODELO PARA LA PERDIDA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS	26
FIGURA N° .2 PARA DETERMINAR LA CAÍDA DE PRESIÓN EN TUBERÍA EN RÉGIMEN LAMINAR	30
FIGURA N° .3 PARA DETERMINAR LA CAÍDA DE PRESIÓN EN TUBERÍA EN RÉGIMEN TURBULENTO	33



RESUMEN

Este trabajo está enfocado a la realización de determinación del modelo y cálculo de la caída de presión para el flujo de agua en tuberías, tanto en régimen laminar y en régimen turbulento. Estos cálculos se realizan cuando el flujo en la tubería ha alcanzado el estado estacionario.

El objetivo de la investigación es realizar el modelo para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento

Con el fin de alcanzar los objetivos y metas del trabajo de investigación se planteó y se realizó un modelo de cálculo de las variables implicados en el transporte del fluido. Los cálculos generalmente se realizan en forma iterativa y los valores obtenidos servirán para la realización del dimensionamiento de las tuberías de agua en una planta química

Con los datos considerados para el cálculo de la caída de presión en las tuberías, se han obtenido los siguientes resultados:

La caída de presión en la tubería, el flujo volumétrico y potencia de bombeo en

Régimen de flujo laminar, se han obtenido los siguientes resultados:

$$h_L = 14.9 \text{ ft}$$

$$Q_v = 0.000236 \text{ ft}^3 / \text{s}$$

$$W_{\text{bombeo}} = 0.30W$$

En el caso del cálculo de la caída de presión en una tubería de agua, la potencia de bombeo y la pérdida de carga en régimen turbulento se tienen:

$$\Delta P = \Delta P_L = 1700 \text{ lbf} / \text{pie}^2 = 11,8 \text{ psi}$$

$$W_{\text{bombeo}} = 461W$$

$$h_L = 27.3 \text{ pie}$$

Con estos resultados obtenidos concluimos, que la caída de presión en la tubería, la potencia de bombeo, para los regímenes de flujo están dentro de valores correctos.

PALABRAS CLAVES: caída de presión, potencia de bombeo, régimen laminar, régimen turbulento



ABSTRACT

Is focused on the realization of model determination and calculation of pressure drop for water flow in pipes, both in laminar regime and in turbulent regime. These calculations are made when the pipeline has reached steady state.

The objective of the investigation is to make the model for the calculation of pressure losses in water conducting pipes in laminar and turbulent regime.

In order to achieve the objectives and goals of the research work, a calculation model of the variables involved in the transport of the fluid is proposed and carried out. The calculations are usually done in an iterative way and the values obtained will be used for the realization of the sizing of water pipes in a chemical plant

With the data considered for the calculation of the pressure drop in the pipes, the following results have been obtained:

- Pressure drop in the pipe. Volumetric flow and pumping power in a laminar flow regime,

$$h_L = 14.9 \text{ ft}$$

$$Q_v = 0.000236 \text{ ft}^3 / \text{s}$$

$$W_{\text{bombeo}} = 0.30 \text{ W}$$

- Loss of load in a water pipe, turbulent regime

$$\Delta P = \Delta P_L = 1700 \text{ lbf} / \text{pie}^2 = 11,8 \text{ psi}$$

$$W_{\text{bombeo}} = 461 \text{ W}$$

$$h_L = 27.3 \text{ pie}$$

With these results we conclude that the pressure drop is satisfactory.

KEYWORDS: pressure drop, pumping power, laminar regime, turbulent regime



INTRODUCCION

Uno de los problemas del transporte de agua u otros fluidos líquidos en tuberías es determinar la caída de presión en tuberías, esta caída puede ser en régimen laminar o régimen turbulento, los cuales se basan en determinar mediante estudios y correlación empíricas. Generalmente existen desviaciones entre los resultados obtenidos de las simulaciones y los valores experimentales.

Estas pérdidas se han de determinar en tuberías rectas, las cuales son denominadas pérdidas de carga en tuberías rectas, también estas pérdidas se calculan cuando el fluido fluye en accesorio como válvulas, codos, uniones, etc. Estas son denominadas pérdidas de carga singulares.

Relacionado los modelos para la calcular de pérdidas de carga en tuberías, Wojs (1993), desarrollo una ecuación teórico – experimental al realizar este cálculo, generalmente para determinar la fricción en tuberías lisas y rugosas, aunque su aplicación aún se encuentra limitada, por estar el factor de fricción de Darcy implícito en la ecuación del factor de Darcy. Este factor se determina en la gráfica de Moody o mediante la ecuación de Coolebrook u otras ecuaciones-

El objetivo del presente artículo es obtener un modelo para estimar la caída de presión en las tuberías durante el transporte del fluido (agua), según sea el régimen de flujo,



I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Generalmente el transporte de agua por tuberías se presenta dificultades, relacionadas a la viscosidad, el comportamiento newtoniano, afectando en forma directa el rendimiento en las instalaciones de transporte como consecuencia de las imprecisiones de las metodologías de cálculo.

En el presente trabajo se desarrollan relaciones funcionales que describen las variaciones de presión para el flujo de agua newtoniano en tuberías, obtenidas a partir de las limitaciones de metodología y correlaciones empíricas para la evaluación de los efectos de viscosidad en régimen turbulento durante el transporte de fluidos por tuberías

El modelo obtenido constituye las bases de cálculo para la selección, evaluación y racionalización del proceso de transporte por tuberías del agua, en relación con las propiedades físicas del fluido.

Otro problema que presenta el flujo a través de tuberías es la pérdida de energía, debido al rozamiento del fluido con las paredes de la conducción, originando unas pérdidas de energía por rozamiento o fricción en ellos, estas pérdidas se han de determinar mediante el uso de ecuaciones empíricas.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo realizar el modelo para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y régimen turbulento?



1.2.2 Problemas Específicos

¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles para realizar el modelamiento para el cálculo de las pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua?

¿Cómo y con qué ecuaciones se aplicarán en el modelo para el cálculo de las pérdidas de presión en régimen laminar y turbulento?

¿Cuál será el modelo para el cálculo de las variaciones de caída presión en el transporte por tuberías de agua?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar el modelo para el cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento?

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las fuentes para realizar el modelamiento para el cálculo de las pérdidas de carga por presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento
- Cómo y con qué ecuaciones se aplicarán para el cálculo de las pérdidas de presión por fricción en tuberías rectas y en accesorios.
- Realizar el modelo para el cálculo de las variaciones de presión en el transporte por tuberías de agua

1.4 Limitantes de la investigación (teórico, temporal, espacial)

En el transporte de agua a través de tuberías se presentan dificultades que son relacionadas a la viscosidad del fluido con comportamiento newtoniano afectando el rendimiento de las instalaciones, debido a ciertos problemas en la metodología de cálculo.



En el trabajo de investigación se desarrollan las relaciones que describen las variaciones de la caída de presión para el flujo de agua en tuberías obtenidas a partir ciertas limitaciones de metodologías y correlaciones empíricas, para la evaluación en régimen laminar y en régimen turbulento para el transporte de agua en tuberías.

El modelo a obtener constituirá la base de cálculo para la selección, evaluación y racionalización del proceso de transporte por tuberías de agua, en relación a sus propiedades físicas.

En este trabajo se hará el cálculo de la caída de presión por fricción en tuberías rectas así como en accesorios, cálculo de potencia, para un sistema de fluido mecánico, utilizando ecuaciones empíricas, ábacos.

El proyecto de investigación "Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento", es una investigación aplicada, descriptiva.



II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

La importancia del proyecto de investigación, "Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento", radica en los siguientes aspectos:

- a. Proporcionar la información técnica requerida para realizar el modelo para el cálculo de la caída de presión en tuberías rectas y en accesorias en régimen laminar y turbulento.
- b. También realizar los cálculos para determinar el coeficiente de fricción por rozamiento, pérdida de energía por rozamiento, potencia de una bomba, el rendimiento, en un sistema fluido, aplicando nomogramas, ábacos y ecuaciones empíricas.
- c. Con este método de cálculo se obtiene un ahorro económico cuando se realiza en las instalaciones mecánicas de sistemas fluidos donde se conduce agua, que se puede aplicar en plantas industriales,

En la industria química en general utilizan grandes cantidades de tuberías en su instalaciones, para el transporte de los fluidos, ya sean líquidos, gases o sólidos, es por eso que se realiza este proyecto de investigación. Respecto a la información consultada se puede mencionar:

- Anaya Durand Alejandro Isaías, Cuich Segovia Guillermo Israel, Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería Química, 2013 México.

En Ingeniería Química existen muchas situaciones que involucran fluidos en movimiento y para poder resolverlas se han de considerar las causas del movimiento, existen muchas fuerzas que impiden el movimiento del fluido entre esta tenemos la fricción. El objetivo de este artículo es evaluar diferentes modelos matemáticos que describan, mediante forma



explícita, el factor de fricción para una tubería. Esto se realiza mediante una comparación de valores numéricos de dichos factores respecto a la ecuación de Colebrook – White y el número de Kaman

- Ángeles Montiel Vicente, Aplicación simplificada de la fórmula de Darcy – Weisbach a los sistemas de riego a presión, México 2015.

Durante mucho tiempo la fórmula de Darcy – Weisbach no se utilizó en la cuantificación de las pérdidas de carga de fricción en tuberías múltiples en los sistemas de riego a presión, debido fundamentalmente a la dificultad que implica de computar el coeficiente de fricción (f) en cada uno de los segmentos que las constituyen. Esta dificultad se incrementa cuando se desea determinar el caudal real de emisión en cada una de las salidas. Para vencer esta dificultad se propone en esta investigación transformar la fórmula de Darcy – Weisbach en una sola función de parámetros físicos y prescindiendo del coeficiente de fricción (f), la modificación involucra la estimación de la ordenada en el origen y la pendiente de un modelo lineal, para cada caso bajo estudio y así es posible resolver el problema planteado sin necesidad de recurrir a soluciones paso a paso.

- Camaraza Medina Yanan, García Morales Oswaldo Fidel, Landa García Juan, "Ecuación explícitas para el cálculo de factores de fricción en la zona transición del régimen turbulento", Matanzas Cuba, 2010

En este trabajo se exponen resultados de investigaciones efectuadas en la Universidad de Matanzas, relacionadas con la obtención de modelos adimensionales para la determinación del factor de fricción en el interior de tuberías, esto se realiza mediante un análisis de regresión efectuado entre el factor de fricción, el número de Reynolds y la rugosidad relativa, utilizando para este fin datos experimentales reportados por diversos autores, estableciendo una comparación con la ecuación trascendente del factor de fricción de Colebrook



- Zaragoza Grife Nicolás, Baeza Pereyra Julio R, Determinación del diámetro de sistema de tuberías mediante la utilización del Visual Basic para aplicaciones y el método de aproximación de punto fijo, Zaragoza, España 2003.

Los métodos de aproximación sucesivas son requeridos para la solución de problemas complejos en ingeniería. Este trabajo muestra el uso del método de aproximación de punto fijo para la determinación del diámetro de sistemas de tuberías en flujo turbulento, considerando no solamente las pérdidas primarias, sino también las menores. Se parte de la ecuación de Colebrook –White. La solución de este sistema fue implementada a partir de un algoritmo genérico en Visual Basic para aplicaciones y programas en MS Excel. Dicho programa permite realizar los cálculos en forma rápida, exacta y sencilla.

2.2 Bases Teóricas

La mecánica de fluidos es la rama de la ciencia que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos ya sean líquidos y gases. En los fluidos puede producirse un movimiento relativo de las moléculas u átomos que forman parte de su estructura interna tanto en movimiento como en reposo, esto no se produce en los sólidos., (Yunus Cengel Mecánica de fluidos)

El flujo de los fluidos puede ser en forma interna, como a través de una tubería y también en flujo externo es decir por la parte exterior de la tubería, ambas situaciones tienen diferentes parámetros de estudio.



2.1 Viscosidad y fluidos newtonianos y no newtonianos

La viscosidad es una magnitud que expresa la deformación que sufre el fluido cuando se le aplica fuerzas externas, produciéndose pérdidas energéticas por fricción o choques entre las distintas moléculas que forman el seno del mismo. La viscosidad (μ) es precisamente la relación existente entre el esfuerzo cortante y el perfil de velocidades creado. (Jaime Santillana y Julia Salías de Santillana, Mecánica de Fluidos para ingenieros de procesos)

$$\tau_{yx} = \mu \frac{dv_x}{dy} \quad (1)$$

Esta expresión es denominada ley de Newton de la viscosidad.

a. Fluidos newtonianos

Son aquellos en los que la viscosidad es inherente a la naturaleza físico química de los mismos, y por lo tanto es independiente del esfuerzo cortante aplicado. La viscosidad es un constante en la ley de Newton, la viscosidad en fluidos newtonianos varía con la presión y su temperatura. Son fluidos newtonianos la mayoría de líquidos con estructura química simple y la totalidad de los gases

b. Fluidos no newtonianos

Son todos aquellos que no cumplen la ley de Newton, por tanto la viscosidad de un fluido no newtoniano no existe como tal, debido a que depende del valor que tenga el esfuerzo cortante y por lo tanto no es una constante para estos la ley de Newton es:

$$\tau_{yx} = \eta \frac{dv_x}{dy} \quad (2)$$

Dónde:



η = es la viscosidad aparente, de iguales unidades a la viscosidad, 'pero no solo varia con la temperatura sino que también depende del esfuerzo cortante.

2.2.2 Flujo de fluidos incomprensibles newtonianos.

La mayoría de problemas de conducción de líquidos, en términos de cargas cinéticas puede resultar despreciable o al menos de inferior orden de magnitud frente a las cargas potenciales, de presión o rozamiento. En estos casos se plantean los siguientes aspectos de acuerdo a las siguientes consideraciones:

a. Caso 1

Conociendo el T_v y D y por tanto de velocidad, se tiene

Conocidos ρ , μ , D y V

Conocido el D y el tipo de tubo puede calcularse ϵ/D

Conocido ϵ/D , Re se obtiene de la gráfica Moody o la ecuación de Colebrook - White el valor del factor de fricción (f)

Conocido f , V , L , y D se calcula ΣF por la ecuación de Fanning, si se trata de un fluido incomprensible y sustituyendo en la ecuación (3) o (4), se deduce la pérdida de presión que experimenta el fluido.

b. Caso 2

En este caso no se puede calcular en forma directa puesto que es necesario realizar el método iterativo. Si se utiliza el gráfico de Moody se debe proceder por un procedimiento de tanteo y error. También se puede utilizar la ecuación de Colebrook - White

Utilizando la gráfica de Moody, se supone un valor del factor de fricción (f), en régimen turbulento y su rugosidad relativa en el diagrama Moody

Se halla luego el valor de Q_v .

Luego con el número de Re y con ϵ/D se determina un nuevo valor de (f) en la gráfica de Moody.

- Si el valor coincide con el valor supuesto para (f) es correcto y sino se supone un nuevo valor de (f), utilizando la ecuación de Colebrook – White

Generalmente un sistema no lineal de dos ecuaciones y dos incógnitas conjuntamente con la ecuación de Bernoulli

$$g(Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{32fQ^2L}{\pi^2 D^5} = 0$$
$$\frac{1}{\sqrt{f}} + 4 \log \left[\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{1.256}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] = 0 \quad (3)$$

Resolviendo f y Qv, hay que tener en cuenta que los sistemas de resolución de sistemas no lineales son métodos numéricos iterativos que precisan de valores iniciales.

Como valores iniciales de f y Q, tomando una velocidad (v) y un valor medio de (f), de la gráfica de Moody ($f = 0.008$) y con Qv aquel en ($v = 1$ m/s). Se emplea el método iterativo, mediante un ordenador, (módulo de Solver). De la hoja de cálculo.

c. Caso 3

Cuando se ha calcular el diámetro mínimo de la conducción hay que tener en cuenta que se desconoce el valor de V, el de Re, el de ϵ/D y por lo tanto también el de (f).

En este caso también se impone la resolución únicamente por un proceso iterativo.

Si se utilizar la gráfica de Moody, a fin de que los cálculos a realizar sean mínimos conviene expresar previamente los parámetros desconocidos en función de los datos.



Se supone un valor razonable de f , ($f = 0.008$)

El valor de D se halla a partir de la ecuación de Bernoulli, ecu (3)

Con el valor de D , se calcula Re y ϵ/D

Los valores de Re y ϵ/D se deducen de la gráfica de Moody

Se comparan los valores de f y el calculado de (f) sino hay igualdad hay que seguir iterando (Yunus Cengel, Mecánica de Fluidos.)

2.2.3 Flujo de fluidos incompresibles newtonianos a través de conducciones cilíndricas con accesorios

En el caso de tener sistemas en que además que existan tuberías rectas hay accesorios e inclusive tramos rectos de distinto diámetros, para este caso se plantea la ecuación de Bernoulli de forma que el término de pérdidas incluya todas las pérdidas de energía mecánica, tanto de tramo rectos de distinto diámetro como los accesorios. (Yunus Cengel, Mecánica de Fluidos)

$$g(Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum \frac{32f_i Q^2 L_i}{\pi^2 D^5} + \sum F_{\text{accesorios}} = 0 \quad (4)$$

Para determinar las pérdidas en accesorios, pueden utilizarse el método de los valores de (K) o el método de la longitud equivalente.

Los fluidos, en donde la razón de deformación proporcional al esfuerzo cortante, se le denominan fluidos Newtonianos, tal es el caso del agua, el aire, la gasolina, la sangre, los plásticos líquidos son fluidos no newtonianos. (Yunus Cengel, Mecánica de Fluidos)

2.2.4 Ecuación de conservación de masa, de Bernoulli, y de energía

a. Ecuación de conservación de masa

Es una ecuación del principio de conservación de la masa, esta no se crea ni se destruye, solo se transforma, la masa del sistema permanece constante, durante el proceso.



Para un volumen de control el balance de masa se expresa como:

$$m_{ent} - m_{sal} = \frac{dm_{vc}}{dt} \quad (5)$$

Dónde: la fuerza neta que actúa sobre él es cero.

m_{ent} = flujo de masa de entrada, kg/s

m_{sal} = flujo de masa de salida, Kg/s

$\frac{dm_{vc}}{dt}$ = variación de la masa con respecto al tiempo del volumen del control

En flujo de fluidos esta es la ecuación de continuidad. (Yunus Cengel, Mecánica de los fluidos)

b. Conservación de la cantidad de movimiento

El producto de masa y de la velocidad de un sistema se llama cantidad de movimiento del sistema, esta razón de cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta que actúa sobre el cuerpo. Esta permanece constante en un cuerpo. En mecánica de fluido se refiere a la segunda Ley de Newton, es decir como la ecuación del momento lineal.

c. Ecuación de energía

La energía puede transferirse ya sea en un sistema cerrado, por medio de calor o de trabajo. La energía neta transportada a un sistema de entrada en el durante el proceso es igual al cambio de contenido de energía. Esta puede expresarse tal como se muestra en la siguiente relación:

$$E_{ent} - E_{sal} = \frac{dE_{vc}}{dt} \quad (6)$$

Dónde:

E_{ent} = transferencia de energía hacia dentro del volumen de control

E_{sal} = transferencia de energía hacia fuera del volumen de control



d. La ecuación de Bernoulli

Se refiere a la conservación de la energía cinética, potencial, y la energía de flujo de un fluido, es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables.

La ecuación de Bernoulli se puede expresar mediante la siguiente relación, para flujo estacionario e incompresible:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad (7)$$

La ecuación de Bernoulli también puede expresarse entre dos puntos cualesquiera sobre la misma línea de corriente, (Irving H. Shames, Mecánica de fluidos, 1995)

Esta ecuación puede enunciarse como: La suma de la energía cinética, la energía potencial, y de flujo de una partícula de fluido es constante a lo largo de una línea de corriente en el transcurso del flujo estacionario, cuando los efectos de la compresibilidad y de fricción son despreciables.

Esta ecuación fue enunciada por el matemático suizo Daniel Bernoulli

2.3. Energía de fluidos en estado estacionario

La ecuación de energía de flujo estacionario con respecto al tiempo de un volumen de control es igual a cero, de tal forma la ecuación queda:

$$Q_{ent\ neta} + W_{flecha\ ent\ neta} = \sum_{sal} m \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) - \sum_{ent} m \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (8)$$

Como $h = v + p/\rho$

Esta ecuación es válida para flujo compresible y flujo incompresible

Y se puede expresar cómo:



$$W_{\text{flecha ent. neta}} + \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + (u_2 - u_1 - q_{\text{ent. neta}}) \quad (9)$$

$$W_{\text{flecha ent. neta}} + \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + e_{\text{mec. perdida}}$$

Donde la pérdida de energía mecánica por fricción es:

$$e_{\text{mec perdida}} = (u_2 - u_1 - q_{\text{ent. neta}}) \quad (10)$$

Cuando multiplicamos la ecuación anterior por el flujo másico, se tiene la siguiente ecuación, (Yunus Cengel, Mecánica de Fluidos):

$$\dot{m} \left(\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) + \dot{W}_{\text{bomba}} = \dot{m} \left(\frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) + E_{\text{mec perdida}} \quad (11)$$

2.4. Flujo en tuberías

Generalmente un fluido líquido o gas a través de tuberías o ductos se utilizan en sistemas de calefacción y enfriamiento en redes de distribución de fluido

La velocidad de flujo de un fluido cambia de cero en la superficie hasta un valor máximo en el centro, por lo que se debe trabajar con una velocidad promedio que permanece constante en flujo incompresible cuando el área de sección transversal de la tubería es constante

Este valor de la velocidad promedio, se tiene:

$$\dot{m} = \rho V_{\text{prom}} A_c = \int_{A_c} \rho v(r) dA_c \quad (12)$$

Donde: $v(r)$ es el perfil de velocidad

Entonces la velocidad promedio para flujo incompresible en una tubería circular de radio R es:

$$V_{\text{prom}} = \frac{\int_{A_c} \rho v(r) dA_c}{\rho A_c} = \frac{\int_0^R \rho v(r) 2\pi r dr}{\rho \pi R^2} = \frac{2}{R^2} \int_0^R v(r) r dr \quad (13)$$

Irving H. Shames Mecánica de Fluidos, Tercera Edición, 1995

2.5 .Análisis del flujo de fluido

2.5.1 Flujo laminar

El flujo en una tubería se produce cuando el fluido se transporta en línea de corrientes aproximadamente paralelas, a bajas velocidades se dice que el régimen es laminar, el cual se caracteriza por líneas de corriente suaves y movimiento sumamente ordenado

El flujo laminar se da cuando el fluido es viscoso, tal como los aceites, (Pérdidas de carga en tuberías, Universidad de Oviedo, 2008)

2.5.2 Flujo turbulento

Se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento desordenado,

Esto se da como resultado de las rápidas fluctuaciones, donde mejora la transferencia de cantidad de movimiento entre las partículas del fluido, aumentando las fuerzas de fricción sobre la superficie

El factor de fricción alcanza un máximo valor, cuando el flujo es totalmente turbulento. (Pérdidas de carga en tuberías, Universidad de Oviedo, 2008)

2.5.3 Número de Reynolds

Osborne Reynolds (1880), descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta relación se conoce como número de Reynolds. (Yunus Cengel, Mecánica de fluidos).

Este número adimensional y se expresa para flujo interno en una tubería circular mediante la siguiente expresión:

$$N^{\circ}Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{V_{prom} \times D}{\nu} = \frac{\rho \times V_{prom} \times D}{\mu} \quad (14)$$

Dónde:

ρ = densidad del fluido, kg/m³



V_{prom} = velocidad de flujo promedio, m/s

μ = viscosidad dinámica del fluido, kg/m.s

ν = viscosidad cinemática del fluido, m²/s

Generalmente se tiene:

$Re \leq 2300$ flujo laminar

$2300 \leq Re \leq 4000$ flujo transición

$Re \geq 4000$ flujo turbulento

2.6 Flujo laminar en tuberías

En el caso que se tenga el flujo laminar estacionario de un fluido incomprensible con propiedades constante en una región totalmente desarrollada en una tubería circular recta, se obtiene la ecuación la cantidad de movimiento, al que podemos aplicar un equilibrio de cantidad de movimiento a un elemento diferencial de volumen, se obtiene el perfil de velocidad luego utilizar para la determinación de factor de fricción.

El flujo laminar totalmente desarrollado, las partículas se desplazan a una velocidad constante a lo largo de una línea de corriente, y el perfil de velocidad permanece invariable en la dirección de flujo, no hay movimiento en la dirección normal, por tanto el componente de velocidad en dirección normal al flujo es cero. (Perdidas de carga en tuberías, Universidad de Oviedo, 2008)

Considerando un elemento diferencial de volumen en forma de un anillo, de radio (r), grosor (d) y longitud (dx), donde fluye coaxialmente en una tubería incluye solo efectos de presión y la viscosidad está equilibrada entre sí. Un equilibrio de fuerzas sobre el elemento de volumen en la dirección del flujo, se tiene:

$$(2\pi r dr P)_x - (2\pi r dr P)_{x+dx} + (2\pi r dx \tau)_r - (2\pi r dx \tau)_{r+dr} = 0 \quad (15)$$



Simplificando la ecuación anterior obtenemos la ecuación diferencial

$$\frac{v}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dv}{dr} \right) = \frac{dP}{dx} \frac{v}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dv}{dr} \right) = \frac{dP}{dx} \quad (16)$$

La ecuación se puede resolver separando variables e integrando dos veces, para obtener el perfil de velocidad:

$$v(r) = \frac{1}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) r^2 + C_1 \ln r + C_2 \quad (17)$$

Apartar de la ecuación (17), se determina el perfil de velocidad, cuando se aplica las condiciones de frontera:

$$\text{Cf: 1} \quad \frac{\partial v}{\partial r} = 0 \quad \text{cuando } r = 0$$

$$\text{Cf: 2} \quad v = 0 \quad \text{cuando } r = R$$

Obteniendo la siguiente expresión

$$v(r) = -\frac{R^2}{4} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (18)$$

La velocidad promedio se determina sustituyendo la ecuación (13) en la ecuación (18)

$$V_{prom} = \frac{2}{R^2} \int_0^R v(r) r dr = \frac{-2}{R^2} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) r dr = -\frac{R^2}{8} \left(\frac{dP}{dx} \right) \quad (19)$$

Por tanto el perfil de velocidad es:

$$v(r) = 2V_{prom} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (20)$$



2.6.1 Caída de presión y pérdida de carga

a. Caída de presión, ΔP_L

Es conveniente expresar la pérdida de presión para todos los tipos de flujo interno totalmente desarrollados, ya sea flujo laminar, turbulento para tuberías circulares o no circulares, con superficie lisa o rugosa y para tuberías horizontales o inclinadas, mediante la siguiente ecuación:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} \quad \Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} \quad (21)$$

Dónde:

f: factor de fricción de Darcy

b. La pérdida de carga, (h_L)

La pérdida de carga se obtiene cuando se divide ΔP_L entre ρg obteniendo:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} \quad (22)$$

Esta pérdida representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de la bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción, (Yunus Cengel, Mecánica de fluidos).

2.7 Método para determinar el gradiente de presión en tuberías.

El diseño de sistemas de tuberías se necesita conocer la relación entre el gradientes de presión, (dP/dx), requeridas para obtener flujos volumétricos (Q_v), para diferentes diámetros (D) de la tuberías, que se encuentre a diferentes temperaturas y diferentes propiedades de los fluidos.

Para obtener el modelo para el transporte agua en tuberías, se ha de ser uso simultáneo de las ecuaciones de balance de masa, momento y energía con los efectos de los esfuerzos de mezclado entre capas de fluido, (García 2003).

Para el análisis de las fuerzas considerar una tubería inclinada, con flujo hacia arriba y una inclinación o un Angulo (θ)



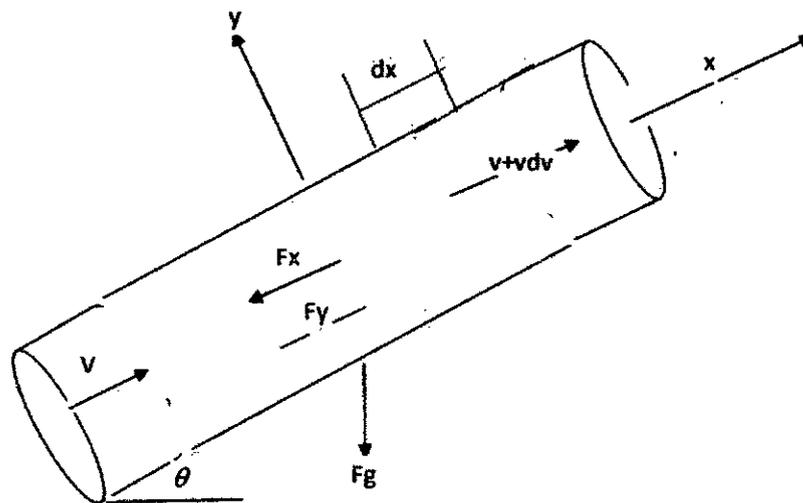


FIGURA 1

Para obtener el modelo para la pérdida de presión en tuberías

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento para la determinación del gradiente de presión en tuberías

La ecuación básica de conservación del momento del modelo homogéneo para flujos en tuberías con la modificación antes mencionadas, (Haoulo et. Al. 2005), se tiene la siguiente expresión:

$$\rho \times \frac{dv}{dt} = \frac{dp}{dx} - \frac{P \times \tau_p}{A} - F_m - \rho \times g \times \text{sen}\theta \quad (23)$$

Dónde:

A = área de la sección transversal, m²

P = perímetro de la tubería, m

ρ = densidad del fluido, kg/m³

θ = Angulo de inclinación de la tubería, grados sexagesimales

dp/dx = gradiente de presión en la dirección del flujo, Pa/m

g = aceleración de gravedad, m/s^2

F_m = esfuerzo de presión adicional en la tubería, Pa/m

Reordenando la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{P \times \tau_p}{A} + \frac{P \times \tau_p}{A} + \rho \times v \times \frac{dv}{dt} + \rho \times g \times \text{sen}\theta \quad (24)$$

Dónde:

V = velocidad del fluido, m/s

La ecuación N° 24, el gradiente de presión longitudinal total en la tubería se divide en cuatro componentes, (Héctor Luis – Alfonso Falcón, Modelo para el cálculo de pérdidas de presión)

2.7.1 Primer componente:

Es el gradiente de presión debido al esfuerzo viscoso del fluido con la pared de la tubería.

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_v = 2 \times K \times \left(\frac{3 \times n + 1}{n} \times \frac{4}{\pi \times D^2}\right)^n \times \left(\frac{2}{D}\right)^{n+1} \times Q^n \quad (25)$$

Dónde:

Q_v = flujo volumétrico, m^3/s

D = diámetro de la tubería, m

2.7.2 Segundo componente

Es del gradiente de presión adicional por efectos de mezclado del fluido en la tubería, se estima mediante la ecuación de Darcy Weisbach

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_m = \lambda^* \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2} \times \rho \quad (26)$$

Dónde:

λ^* = Coeficiente de fricción por rozamiento adicional del fluido, adimensional, se determina mediante la relación:

$$\lambda^* = \frac{a}{\text{Re}^{*b}} \quad (27)$$

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_m = \frac{a}{\text{Re}^{*b}} \times \frac{8 \times \rho}{\pi^2} \times \frac{Q^2}{D^5} \quad (28)$$

Dónde:

a, b = Coeficientes que dependen del régimen de flujo de fluido

Re^{*b} = número de Reynolds generalizado, adimensional

2.7.3 Tercer componente

Es el gradiente de presión debido a los cambios de densidad por variaciones de temperaturas en el fluido, según García y Haoulo 2008. La ecuación para su determinación es:

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_a = \left(\frac{m}{A}\right)^2 \times \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{\rho}\right) \quad (29)$$

Resolviendo la ecuación y expresando en términos del flujo másico

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_A = \frac{v^2}{L} \times (\rho_f - \rho_l) \quad (30)$$

El tercer componente se halla mediante la siguiente ecuación, en función del flujo volumétrico

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_A = \frac{16 \times Q^2}{\pi^2 \times L \times D^4} \times (\rho_f - \rho_i) \quad (31)$$

Dónde:

m = flujo másico, Kg/s

ρ_f, ρ_i = son las densidades final e inicial del fluido, durante el transporte del fluido, kg/m³

2.7.4 Cuarto componente

Son los cambios de energía potencial como consecuencia de las variaciones de la inclinación de la tubería. En caso de tubería horizontal este gradiente de presión se anula

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)_G = \rho \times g \times \text{sen}\theta \quad (32)$$

De las ecuaciones 31,30, 29, y 26 en la ecuación 24, se obtiene la expresión del gradiente de presión para el transporte del fluido por tubería.

$$\frac{dp}{dx} = \left[2 \times k \times \left(\frac{3 \times n + 1}{n} \times \frac{4}{\pi \times D^2} \right)^n \times \left(\frac{2}{D} \right)^{n+1} \times Q^n + \frac{a}{\text{Re}^{*b}} \times \frac{8 \times \rho \times Q^2}{\pi^2 \times D^5} + \frac{16 \times Q^2}{\pi^2 \times D^4} \times (\rho_f - \rho_i) + \rho \times g \times \Delta Z \right] \quad (33)$$

Esta expresión se puede utilizar para fluidos seudo plásticos, (Héctor Luis Laurencio – Alfonso Falcón, Modelo cálculo de pérdida de presión en tuberías)

Expresando la ecuación, (33) en diferencia de presión ΔP , y sustituyendo, $\text{sen } \theta = \Delta z/L$, la ecuación resultante es:



$$\Delta P = \left[\frac{2 \times k \times L \times \left(\frac{3 \times n + 1}{n} \times \frac{4}{\pi \times D^2} \right)^n \times \left(\frac{2}{D} \right)^{n+1} \times Q^n + \frac{a}{\text{Re}^{*b}} \times \frac{8 \times L \times \rho \times Q^2}{\pi^2 \times D^5} + \frac{16 \times Q^2}{\pi^2 D^4} \times (\rho_f - \rho_l) + \rho \times g \times \Delta Z \right] \quad (34)$$

2.8 Cálculos para la determinación de la caída de presión en régimen de flujo laminar y turbulento

2.8.1 Determinación de la caída de presión de tubería en régimen de flujo laminar

Se tiene agua a 40 °F, de densidad $\rho = 62.42 \text{ lb/m}^3$ y viscosidad $\mu = 1.038 \times 10^{-3} \text{ lb/pie.s}$ que fluye de manera estacionaria a través de una tubería horizontal de 12 pulgadas (0.0120 pies) de diámetro, y 30 pie de longitud con una velocidad promedio de 3 pies /s.

Se ha de calcular:

- las pérdidas de carga,
- la caída de presión,
- La necesidad de potencia de bombeo para superar esta caída de presión.

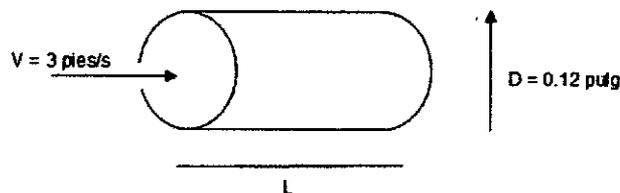


FIGURA N° 2

Para determinar la caída de presión en tubería en régimen laminar

Fuente: Elaboration propia

- Primero se ha de determinar el régimen de flujo, es decir el número de Reynolds (Re)

$$N^{\circ} Re = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu} = \frac{62.42 \text{ lbm} / \text{ft}^3 \times 3 \text{ ft} / \text{s} \times 0.01 \text{ ft}}{1.038 \times 10^{-3} \text{ lbm} / \text{ft} \cdot \text{s}} = 1803$$

Como el número de Reynolds menor de 2300, por tanto el régimen flujo es laminar.

2. Luego se determina el factor de fricción y la pérdida de carga para esto se procede de la siguiente forma:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1803} = 0.0355$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} = 0.0355 \frac{30 \text{ ft}}{0.01 \text{ ft}} \frac{(3 \text{ ft} / \text{s})^2}{2(32.2 \text{ ft} / \text{s}^2)} = 14.9 \text{ ft}$$

3. Para una tubería horizontal y de diámetro constante, la caída de presión solo se debe a la pérdida por fricción que esta es equivalente a la pérdida de presión.

$$\Delta P = \Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom} \cdot \rho}{2g_c}$$

4. El flujo volumétrico y la necesidad de potencia de bombeo es

$$Q_v = V_{prom} \times A = V_{prom} \times (\pi \cdot D^2 / 4)$$

$$Q_v = (3 \text{ ft} / \text{s}) \left(\frac{\pi \times (0.1 \text{ ft})^2}{4} \right) = 0.000236 \text{ ft}^3 / \text{s}$$

$$W_{bombeo} = Q_v \times \Delta P = 0.000236 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \times 929 \frac{\text{lb}_f}{\text{ft}^2} \times \frac{1W}{0.737 \text{ lb}_f \cdot \text{ft} / \text{s}} = 0.30W$$

2.8.2 Cálculo de la caída de presión, la razón de flujo, o determinación del diámetro, en región turbulento

Para el diseño y análisis de sistemas de tuberías que implican utilizar el diagrama de Moody o la ecuación de Colebrook, en régimen turbulento, pueden ocurrir tres tipos de problemas:

1. Determinación de la caída de presión, o pérdida de carga, cuando la longitud y el diámetro de la tubería se proporcionan para una razón de flujo.
2. Determinación de la razón de flujo, cuando la longitud y el diámetro de la tubería se proporcionan para una caída de presión.
3. Determinación del diámetro de la tubería, cuando la longitud de la tubería y la razón de flujo se dan para una caída de presión. En este tipo de problemas se ha de realizar mediante el método iterativo.

Con el fin de no realizar el método iterativo, para hallar la pérdida de carga, la razón de flujo y cálculo del diámetro, en 1976, Swamee y Jain proporcionaron las siguientes relaciones, (Yunus Cengel, Mecánica de fluidos):

$$h_L = 1.07 \frac{V^2 L}{gD^5} \left\{ \text{Ln} \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + 4.62 \left(\frac{vD}{V} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \quad 10^{-6} < \varepsilon/D$$

$$V = -0.965 \left(\frac{gD^5 h_L}{L} \right)^{0.5} \text{Ln} \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \left(\frac{3.17v^2 L}{gD^3 h_L} \right)^{0.5} \right] \quad \text{Re} > 2000$$

$$D = 0.66 \left[\varepsilon^{1.25} \left(\frac{LV^2}{gh_L} \right)^{4.75} + vV^{9.4} \left(\frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad 10^{-6} < \varepsilon/D < 10^{-2}$$

$$5000 < \text{Re} < 3 \times 10^8$$

a. Determinación de la pérdida de carga en una tubería de agua, régimen turbulento}

Se tiene agua a 60 °F, de densidad $\rho = 62.36 \text{ lb/pie}^3$ y viscosidad dinámica, $\mu = 7.536 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$, el cual fluye en forma estacionaria en una tubería horizontal de 2 pulgada de diámetro de acero inoxidable, a una razón de



flujo volumétrico $Q_v = 0.2 \text{ ft}^3/\text{s}$. Se ha de determinar la caída de presión, la pérdida de carga y la potencia de bombeo necesaria para el flujo a través de la tubería que tiene una longitud de 200 pies de largo

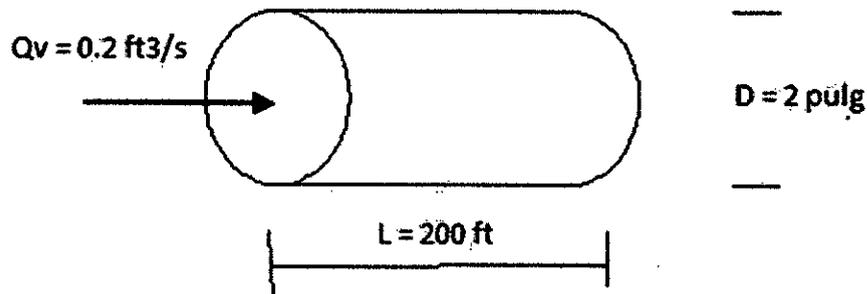


FIGURA 3

Tubería para determinar la caída de presión régimen turbulento

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la caída de presión, la pérdida de carga y potencia de bombeo necesaria, para el primer tipo, donde se conoce la razón de flujo, la longitud de la tubería y el diámetro se procede de la siguiente forma:

- Primero se ha de calcular la velocidad promedio y el número de Reynolds

$$v = \frac{V}{A_c} = \frac{V}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.2 \text{ pie}^3 / \text{s}}{\pi (2/12 \text{ pie})^2 / 4} = 9.17 \text{ pie} / \text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{(62.36 \text{ lb} / \text{pie}^3)(9.17 \text{ pie} / \text{s})(2/12 \text{ pie})}{7.536 \times 10^{-4} \text{ lb} / \text{pie} \cdot \text{s}} = 126400$$

El régimen de flujo es turbulento

- La rugosidad relativa se determina mediante la siguiente relación:

$$e/D = 0.000007 \text{ pie} / 2/12 \text{ pie} = 0.000042$$

- El factor de fricción se determina mediante el diagrama de Moody o la ecuación de Colebrook, entre el N° de Reynolds y la rugosidad relativa (e/D)

Ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) = -2.0 \log \left(\frac{0.000042}{3.7} + \frac{2.51}{126400 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0174$$

Luego se determina la caída de presión, la pérdida de carga y la potencia de bombeo se tienen:

Caída de presión

$$\Delta P = \Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g_c} = 0.0174 \times \frac{200 \text{ pie}}{2/12 \text{ pie}} \times \frac{(62.36 \text{ lb / pie}^3)(9.17 \text{ pie / s})^2}{2} \times \left(\frac{1 \text{ lbf}}{32.2 \text{ lb} \cdot \text{pie / s}^2} \right)$$

$$\Delta P = \Delta P_L = 1700 \text{ lbf / pie}^2 = 11,8 \text{ psi}$$

Pérdida de carga

$$h_L = \Delta P_L / \rho g = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.0174 \times \frac{200 \text{ pie}}{2/12 \text{ pie}} \times \frac{(9.17 \text{ pie / s})^2}{2} \times \left(\frac{1}{32.2 \text{ pie / s}^2} \right)$$

$$h_L = 27.3 \text{ pie}$$

La potencia de bombeo

$$W_{\text{bombeo}} = Qv \cdot \Delta P = (0.2 \text{ pie}^3/\text{s}) \times (1700 \text{ lb / pie}^2) \times \left(\frac{1W}{0.737 \text{ lbf} \cdot \text{pie / s}} \right) \frac{1}{2}$$

$$W_{\text{bombeo}} = 461W$$



b. Determinación de la razón de flujo de agua en un ducto

Se tiene que la longitud del tubo es 300 m con un diámetro de 0.262 m Si la pérdida de carga total permanece constante a un valor de 20, se ha de calcular la caída de razón de flujo a través de la tubería.

Este es un caso del segundo tipo, donde implica determinar la razón de flujo para un diámetro de tubería y pérdida de carga especificada.

La determinación consiste en aplicar el método iterativo, debido a que se desconoce la razón de flujo o la velocidad del flujo.

El procedimiento iterativo consiste en realizar cálculo con las formulas siguientes:

1. Cálculo de la velocidad v y el flujo volumétrico del fluido

$$v = \frac{Q_v(m^3/s)}{A_c(m^2)} = \frac{Q_v}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{Q_v}{\pi \cdot (0.267m)^2 / 4} \quad (a)$$
$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{Q_v \times (0.267m)}{1.655 \times 10^{-5} m^2/s}$$

2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{Q_v \times (0.267m)}{1.655 \times 10^{-5} m^2/s} \quad (b)$$

3. Determinación del factor de fricción, mediante la ecuación de Colebrook
4. Cálculo de la velocidad de flujo

La solución se realiza por el método iterativo o mediante un programa de cálculo, como por ejemplo con el programa de cómputo EES, el cual nos proporciona la siguiente solución:



$$Q_v = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$f = 0.0195$$

$$v = 4.23 \text{ m/s}$$

$$Re = 68\,300$$

Entonces la caída de razón de velocidad es:

$$\Delta Q \text{ caída} = Q_v \text{ anterior} - Q_v \text{ actual} = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

Un método alternativo manual es suponer:

1. Un factor de fricción, (f)
2. resolver la velocidad (v) en función de (f)
3. Calculado la velocidad, se determina el número de Reynolds
4. Luego obtener el factor de fricción corregido, hasta que haya convergencia

En la siguiente tabla se presentan estos valores:

TABLA N° 1 Resultado de los valores obtenidos en el método iterativo del factor de fricción

Iteración	1	2	3	4	5
f(suposición)	0.04	0.0212	0.1973	0.01957	0.1956
v(m/s)	2.955	4.059	4.207	4.224	4.225
N° Re	4.724×10^4	6.489×10^4	6.727×10^4	6.754×10^4	6.756×10^4
f(corregido)	0.0212	0.01973	0.01957	0.01956	0.01956

Fuente: Elaboración propia



Note que la iteración convergió a tres dígitos en solo tres iteraciones y a cuatro dígitos en solo cuatro iteraciones. Los resultados finales son idénticos a los obtenidos con el programa Engineering Equation Solver, (EES), Yunus Cengel Mecánica de Fluidos

Discusión: La nueva razón de flujo también se puede obtener directamente a partir de la segunda fórmula de Swamee-Jain:

Note que el resultado de la relación de Swamee-Jain es el mismo (a dos cifras significativas) que el obtenido con la ecuación de Colebrook con el EES o con la técnica de iteración manual. Por lo tanto, se puede usar con confianza la simple relación de Swamee-Jain.

2.9 Definiciones términos básicos

Adiabático, sistema que no gana ni cede energía a los alrededores.

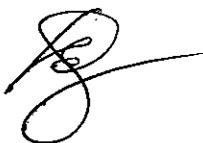
Bomba, equipo mecánico que eleva, transporta fluidos,

Calor, Manifestación de la energía que los sistemas o cuerpos poseen.

Calor latente, cantidad de energía que un sistema posee mientras cambia de estado.

Eficacia, capacidad de un equipo al realizar la función para lo cual fue diseñado.

Eficiencia, Relación entre los insumos consumidos por el condensador, agua, vapor y el producto obtenido.



III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 HIPÓTESIS GENERAL

Es posible realizar modelos para el cálculo de pérdida de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento

3.2 HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- Las fuentes seleccionadas permitirán realizar la determinación del modelamiento para realizar el cálculo de las pérdidas de carga por presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y en régimen turbulento.
- Las ecuaciones formuladas permitirán realizar los cálculos de las pérdidas de presión en tuberías rectas y en accesorios.
- El modelo seleccionado permitirá realizar el cálculo de la variaciones de presión en el transporte por tuberías de agua



3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

TABLA N° 2

Operacionalización de las variables dependientes e independientes.

Tipo de variable	Dimensiones	Indicadores
Variables independientes		
Variable X1	Caída de presión,	Pa o Kgf/cm2
Ecuaciones de diseño para determinar la caída de presión	Factor de fricción en tubería recta y en accesorios,	Metros
	pérdida de presión por fricción,	m ³
	Longitud de tubería	pa/m2
		m
Variable X2		
Cálculo del factor de fricción en régimen laminar y régimen turbulento.	velocidad del fluido, diámetro de tubería, densidad del fluido	m/s kg/m3 m
Variable dependiente		
Realizar el modelo para evaluar la caída de presión en flujo laminar y turbulento	Caída de presión	Kgf/cm2

Fuente: Elaboración propia, Ing. Alberto Emilio Panana Girio



3.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables son las siguientes:

$$Y = f(X1, X2)$$

a. Variable dependiente

Y = realizar el modelo para evaluar la caída de presión en flujo laminar y turbulento

b. Variables Independientes

X1 = Ecuaciones de diseño para determinar la caída de presión

X2 = Cálculo del factor de fricción, en régimen laminar y turbulento.



IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

Para lograr los objetivos propuestos en este trabajo de investigación, relacionado con el Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento se utilizará los métodos: método descriptivo, deductivo y el analítico

4.1 Tipo y diseño de la investigación

4.1.1 Tipo de la Investigación

Este trabajo es una investigación predictiva y aplicada, descriptiva que utiliza técnicas de las ciencias aplicadas tecnológicas y sustantivas para su elaboración.

4.1.2 Diseño de la investigación

Para hallar el modelo, se ha de usar los fundamentos y procedimientos de la caída de presión en régimen laminar y en régimen turbulento

El presente trabajo de investigación tiene como escenario el laboratorio de Operaciones y Procesos de la Facultad de Ingeniería Química

4.2 Población y muestra

-

4.2.1 Población

El universo de la investigación o línea de trabajo es el agua a través de tuberías, que puede ser en instalaciones químicas o en sistemas fluido,



aplicando la ley de conservación, con los fundamentos de transporte, con el balance de energía (balance de energía mecánica, energía, etc.)

4.2.2 Muestra

La muestra de la investigación es el volumen de agua que se requiere en el sistema fluido, ubicado en el Laboratorio de operaciones y procesos unitarios.

4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información documentada.

Las técnicas del procedimiento lógico que se utilizó para la constatación de la hipótesis planteada será:

- Método o modelo para determinar la caída de presión.
- Métodos y procedimiento de cálculo para hallar la caída de presión por fricción en tuberías rectas y accesorios.

Los datos que se tomarán son:

- Producción de agua,
- Temperatura
- presión del agua

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de la información de campo.-

Las técnicas del procedimiento lógico que se utilizaron para la constatación de la hipótesis planteada será:

- Método o modelo para determinar la caída de presión.
- Métodos y procedimiento de cálculo para hallar la caída de presión por fricción en tuberías rectas y accesorios.



Los datos que se tomaran son:

Producción de agua, Temperatura y presión del agua.

Con los fundamentos teóricos seleccionados sobre la determinación de la pérdida de presión en tuberías rectas y en accesorios permitirá hallar el modelo de cálculo.

Si no se obtiene la información para todos los indicadores de las variables contempladas para este proyecto se busca información de fuentes secundarias; producto de investigaciones previas, ejecutadas por instituciones académicas, dedicadas a la investigación, relacionadas con algunos de los indicadores señalados para llevar a efecto este estudio

4.5 Análisis y procedimiento de datos

Se hace uso de las técnicas estadísticas descriptiva, presentar los datos cuantitativos de manera resumida las diferentes características, (promedio, desviación, etc.), en el caso de temperatura, presión, cantidad de agua, cantidad de calor.

Permitirá también visualizar la distribución de estas variables en histogramas.

- a. En el caso para la determinación de la caída de presión en régimen laminar se tiene la siguiente información:

Densidad del agua, $\rho = 998.29 \text{ kg/m}^3$

Viscosidad, $\mu = 0.001 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$

Diámetro, $D = 0.01 \text{ m}$

Longitud = 10m



Velocidad = 0.15 m/s

$$N^{\circ}Re = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu} = \frac{998.29 \text{ kg/m}^3 \times 0.15 \text{ m/s} \times 0.01 \text{ m}}{1.001 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 1495.93$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1495.93} = 0.042$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} = 0.042 \times \frac{10 \text{ m}}{0.01 \text{ m}} \frac{(0.15 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.048 \text{ m} = \Delta P$$

Para la caída de presión en régimen turbulento, se tienen los siguientes datos

$$\rho = 62.42 \text{ lb/pie}^3$$

$$\mu = 7.536 \times 10^{-3} \text{ lb/pie.s}$$

$$D = 2 \text{ pulgadas}$$

$$L = 200 \text{ pies}$$

$$Q_v = 0.23 \text{ pies}^3/\text{s}$$

- b. En el caso de obtener el valor del factor de fricción (f) obtenido por el método iterativo se tiene la siguiente tabla:

TABLA 3 Método iterativo para obtener el factor de fricción

Iteración	1	2	3	4	5
f(supuesto)	0.04	0.0212	0.01973	0.1957	0.1956
v(m/s)	0.04	0.0212	0.01973	0.1957	0.1956
Re	4.724x10⁴	6.489x10⁴	6.721x10⁴	6.754x10⁴	6.756x10⁴
f(corregido)	0.0212	0.1973	0.1957	0.01956	0.01956

Fuente: Elaboración propia



V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

De los cálculos realizados para la determinación de la caída de presión en tuberías en régimen laminar y en régimen turbulento, cuando fluye agua por tubería se tiene los siguientes resultados

Caso 1: Para agua que fluye de manera estacionaria a través de una tubería horizontal de 0.01 m de diámetro, y 10 m de longitud con una velocidad promedio de 0.15 m/s, se ha de determinar la caída de presión, potencia de bombeo:

Datos: para agua a 20 °C, su densidad, $\rho = 998.29 \text{ kg/m}^3$, viscosidad $\mu = 0.001003 \text{ kg/m.s}$, Numero de Reynolds (Re)

$$N^{\circ} \text{Re} = \frac{\rho \cdot V_{\text{prom}} \cdot D}{\mu} = \frac{998.29 \text{ kg/m}^3 \times 0.15 \text{ m/s} \times 0.01 \text{ m}}{1.001 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 1495.93$$

El Régimen de flujo es laminar

a. factor de fricción y la pérdida de carga es:

$$f = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1495.93} = 0.042$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{\text{prom}}}{2g} = 0.042 \times \frac{10 \text{ m}}{0.01 \text{ m}} \frac{(0.15 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.048 \text{ m} = \Delta P$$

b. El flujo volumétrico y la necesidad de potencia de bombeo es

$$Q_v = (0.15 \text{ m/s}) \left(\frac{\pi \times (0.01 \text{ m})^2}{4} \right) = 1.177 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$W_{\text{bombeo}} = Q_v \times \Delta P = 1.177 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 0.01175 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1 \text{ W}}{0.10157 \text{ kg.m/s}} = 1.0367 \times 10^{-4} \text{ W}$$



Resultado:

$$h_t = 0.48m$$

$$Q_v = 1.177 \times 10^{-5} m^3 / s$$

$$W_{bombeo} = 1.036 \times 10^{-4} W$$

Caso 2. Resultado obtenido en régimen turbulento,

Se tiene agua a 60 °F, de densidad $\rho = 62.36 \text{ lb/pie}^3$ y viscosidad dinámica, $\mu = 7.536 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$, el cual fluye en forma estacionaria en una tubería horizontal de 2 pulgada de diámetro de acero inoxidable, a una razón de flujo volumétrico $Q_v = 0.2 \text{ ft}^3/\text{s}$. Se ha de determinar la caída de presión, la pérdida de carga y la potencia de bombeo de la tubería que tiene una longitud de 200 pies de largo

a. Cálculo de velocidad y número de Reynolds:

$$v = \frac{Q_v}{A_c} = \frac{Q_v}{\pi D^2 / 4} = \frac{0.2 \text{ pie}^3 / s}{\pi (2 / 12 \text{ pie})^2 / 4} = 9.17 \text{ pie} / s$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{(62.36 \text{ lb} / \text{pie}^3)(9.17 \text{ pie} / s)(2 / 12 \text{ pie})}{7.536 \times 10^{-4} \text{ lb} / \text{pie.s}} = 126400$$

Régimen de flujo turbulento

b. Mediante la ecuación de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) = \quad f = 0.0174$$

- c. El cálculo del factor de fricción (f) requiere un procedimiento de tanteo y error, se puede emplear el método de iteración de punto fijo. Para subsanar este método, se puede subsanar mediante el



Método propuesto por P.K. Swarnee y A. K. Jain, propusieron la siguiente expresión explícita para el factor de fricción:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7D/\varepsilon} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0174$$

c. Caída de presión

$$\Delta P = \Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g_c} = 0.0174 \times \frac{200 \text{ pie}}{2/12 \text{ pie}} \times \frac{(62.36 \text{ lb} / \text{pie}^3)(9.17 \text{ pie} / \text{s})^2}{2} \times \left(\frac{1 \text{ lbf}}{32.2 \text{ lb} \cdot \text{pie} / \text{s}^2} \right)$$

$$\Delta P = \Delta P_L = 1700 \text{ lbf} / \text{pie}^2 = 11,8 \text{ psi}$$

c. Pérdida de carga

$$h_L = \Delta P_L / \rho g = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0.0174 \times \frac{200 \text{ pie}}{2/12 \text{ pie}} \times \frac{(9.17 \text{ pie} / \text{s})^2}{2} \times \left(\frac{1}{32.2 \text{ pie} / \text{s}^2} \right)$$

$$h_L = 27.3 \text{ pie}$$

d. La potencia de bombeo

$$W_{\text{bombeo}} = Qv \cdot \Delta P = (0.2 \text{ pie}^3 / \text{s}) \times (1700 \text{ lb} / \text{pie}^2) \times \left(\frac{1W}{0.737 \text{ lbf} \cdot \text{pie} / \text{s}} \right)$$

$$W_{\text{bombeo}} = 461W$$

Resultado:

Caída de presión = 11.8 psi

Pérdida de carga = 27.3 pie

Potencia de bombeo = 46 W

a. Al respecto primero se determina la evaluación de la velocidad y el número de Reynolds:



$$v = \frac{Qv}{A} = \frac{10l/s \times 0.0001}{8.213 \times 10^{-3} m} = 1.218 m/s$$

$$N^{\circ} Re = \frac{998 kg/m^3 \times 1.218 m/s \times 0.1923 m}{1.02 \times 10^{-3}} = 121913.92$$

b. Cálculo del factor de fricción (f)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \times 0.1923} + \frac{2.51}{121913.92 \sqrt{0.0197}} \right) \right]} = 0.0196$$

c. Aplicando la ecuación de Darcy, para evaluar las pérdida por fricción

$$\Delta P = \Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g_c} = 0.0174 \times \frac{200 pie}{2/12 pie} \times \frac{(62.36 lb / pie^3)(9.17 pie / s)^2}{2} \times \left(\frac{1 lbf}{32.2 lb \cdot pie / s^2} \right)$$

$$\Delta P = \Delta P_L = 1700 lbf / pie^2 = 11,8 psi$$

d. Además las pérdidas consta con pérdidas locales, debida a la entrada de la tubería y en la válvula

$$h_m = (k_e + k_v) \times \frac{v^2}{2g} = (0.5 + 2.61) \times \frac{9.17^2 pie^2 / s^2}{2 \times 9.81 m / s^2} = 4.060 pie$$

Para otras longitudes de tubería se muestra en la siguiente Tabla

TABLA 4 Cálculos realizados en la determinación de la pérdida de presión para diferentes longitudes de tubería

L/D	100	97.79	977.90	9778.89
hf	27.3	8.50	1.449	14.49
hl	4.06	0.235	0.235	0.235
Σ h	31.36	8.735	1.684	14.725
%hl	12.94	2.69	13.95	1.59

Fuente: Elaboración propia



5.2 Comparación de resultado de la caída de presión con otras situaciones similares.

Por ejemplo en el trabajo presentado por Luis Emilio Pardo Aluma en el artículo "Flujo en tuberías" se puede visualizar lo siguiente: Cuando fluye agua a 20°C para una longitud de (L) metros de tubería de diámetro 4 pulgadas, el cual comprende de una válvula de compuerta, la altura de salida es de 40 m, si el flujo volumétrico es 10 l/s, se ha de determinar las pérdidas de carga a 5, 10, 100 y 1000m.

- i. Primero se determina la evaluación de la velocidad y el número de Reynolds:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{10 \text{ l/s} \times 0.0001}{8.213 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1.218 \text{ m/s}$$
$$N^{\circ} \text{ Re} = \frac{998 \text{ kg/m}^3 \times 1.218 \text{ m/s} \times 0.1923 \text{ m}}{1.02 \times 10^{-3}} = 121913.92$$

- ii. Cálculo del factor de fricción (f)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \times 0.1923} + \frac{2.51}{121913.92 \sqrt{0.0197}} \right) \right]} = 0.0196$$

- iii. Aplicando la ecuación de Dary, para evaluar las pérdida por fricción

$$h_f = 0.0196 \times \frac{L}{0.1023} \times \frac{1.218^2}{2 \times 9.81} = 14.49 \times 10^{-3} \times L$$

- iv. Además las pérdidas consta con pérdidas locales debida a la entrada de la tubería y en la válvula

$$h_m = (k_e + k_v) \times \frac{v^2}{2g} = (0.5 + 2.61) \times \frac{1.218^2 \text{ m}^2 / \text{s}^2}{29.81 \text{ m} / \text{s}^2} = 0.235 \text{ m}$$

Elaborando la siguiente tabla de cálculos se tiene:

TABLA 5 Cálculos realizados en la determinación de la pérdida de presión para diferentes longitudes de tuberías, (5, 10, 100, 1000 metro)

L/D	48.89	97.79	97790	9778.99
hf	0.072	0.145	1.449	14.49
hl	0.235	0.235	0.235	0.235
Σh	0.307	0.38	1.684	14.725
%hl	76.5	61,8	13.97	1.6

Fuente: Luis Emilio Pardo Aluma, en el artículo "Flujo en tuberías"

5.3 Cálculo de la caída de presión mediante la ecuación del MODELO obtenido

$$\Delta P = \left[2 \times k \times L \times \left(\frac{3 \times n + 1}{n} \times \frac{4}{\pi \times D^2} \right)^n \times \left(\frac{2}{D} \right)^{n+1} \times Q^n + \frac{a}{\text{Re}^b} \times \frac{8 \times L \times \rho \times Q^2}{\pi^2 \times D^5} + \frac{16 \times Q^2}{\pi^2 D^4} \times (\rho_f - \rho_i) + \rho \times g \times \Delta Z \right]$$

De la ecuación se tiene las siguientes consideraciones:

1. El régimen de flujo es laminar
2. La densidad inicial (ρ_i), y la densidad final (ρ_f) son casi la misma
3. Los parámetros reológicos, del agua:
 $n = 1$ (Para el caso de fluido newtoniano)
 $k = \mu$
4. La tubería es horizontal, $\Delta Z = 0$
5. Haciendo esta restricciones la ecuación se reduce:

$$\Delta P = 2 \times \mu \times L \left(\frac{16}{\pi \times D^2} \right)^n \times \left(\frac{2}{D} \right)^{n+1} \times Q^n + \frac{1.12 \times L \times \rho \times Q^2}{\pi^2 \times D^5 \times \text{Re}^{0.2}}$$

Con los datos dados en la sección del caso (1), se tiene:

Diámetro de la tubería = 0.01m

Longitud de tubería 10m

Temperatura del agua 20 °C

Densidad del agua = 998.29 kg/m³

Viscosidad del agua = 1.001x10⁻³ kg/m.s

a. Cálculo del número de Reynolds, Re

$$N^{\circ} \text{Re} = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu} = \frac{998.29 \text{ kg/m}^3 \times 0.15 \text{ m/s} \times 0.01 \text{ m}}{1.001 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 1495.93$$

b. Determinación del factor de fricción

$$f = \frac{16}{\text{Re}} = \frac{16}{1495.93} = 0.0106$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} = 0.0106 \times \frac{10 \text{ m}}{0.01 \text{ m}} \frac{(0.5 \text{ m/s})^2 \times 998.03}{2 \cdot (9.8 \text{ m/s}^2)} = 135.0 \text{ Pa} = \Delta P$$

1. Caudal volumétrico, Qv

$$- Q_v = v \times A = 0.15 \times \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 = 1.178 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\Delta P = \left[2 \times 0.001 \times 10 \times \left(\frac{16}{\pi \times 0.01^2} \right)^1 \times \left(\frac{2}{0.01} \right)^{1+1} \times 1.177 \times 10^{-5} + \frac{1.12 \times 10 \times 998.03 \times (1.177 \times 10^{-5})^2}{\pi^2 \times (0.01)^5 \times 1495.93^{0.2}} \right]$$

$$\Delta P = 479.07$$

2. Para un nuevo valor del caudal volumétrico, Qv



$$Q_v = 0.18 \times \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 = 1.41378 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\Delta P = \left[2 \times 0.001 \times 10 \times \left(\frac{16}{\pi \times 0.01^2} \right)^1 \times \left(\frac{2}{0.01} \right)^{1+1} \times 1.41378 \times 10^{-5} + \frac{1.12 \times 10 \times 998.03 \times (1.41378 \times 10^{-5})^2}{\pi^2 \times (0.01)^5 \times 1495.93} \right]$$

$$\Delta P = 577.17 \text{ Pa}$$

3. Si el caudal Q_v fuera de

$$Q_v = 0.19 \times \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 = 1.4922 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\Delta P = \left[2 \times 0.001 \times 10 \times \left(\frac{16}{\pi \times 0.01^2} \right)^1 \times \left(\frac{2}{0.01} \right)^{1+1} \times 1.4922 \times 10^{-5} + \frac{1.12 \times 10 \times 998.03 \times (1.4922 \times 10^{-5})^2}{\pi^2 \times (0.01)^5 \times 1495.93} \right]$$

$$\Delta P = 609.71 \text{ Pa}$$

4. Para un caudal Q_v de:

$$Q_v = 0.195 \times \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 = 1.5315 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\Delta P = \left[2 \times 0.001 \times 10 \times \left(\frac{16}{\pi \times 0.01^2} \right)^1 \times \left(\frac{2}{0.01} \right)^{1+1} \times 1.5315 \times 10^{-5} + \frac{1.12 \times 10 \times 998.03 \times (1.5315 \times 10^{-5})^2}{\pi^2 \times (0.01)^5 \times 1495.93} \right]$$

$$\Delta P = 625.76 \text{ Pa}$$



VI- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que las cantidades de la caída de presión, la pérdida de carga, la potencia de bombeo en régimen laminar son pequeños.
2. En la determinación de la caída de presión, la potencia de bombeo, la pérdida de carga son valores obtenidos moderados, en régimen turbulento.
3. Para la terminación del flujo volumétrico, la solución se realiza por el método iterativo o mediante un programa de cálculo, como por ejemplo con el programa de cómputo EES, el cual nos proporciona la siguiente solución:

$$Q_v = 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$f = 0.0195$$

$$v = 4.23 \text{ m/s}$$

$$Re = 68\,300$$

Entonces la caída de razón de velocidad es:

$$\Delta Q \text{ caída} = Q \text{ anterior} - Q_v \text{ actual} = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

- De los cálculos obtenidos para la determinación de la pérdida de carga, en las tablas N° 4 los resultados se pueden comparar con los obtenidos en el trabajo realizado por Luis Emilio Pardo Aluma, Flujo de Fluidos, los cuales están en la tabla N°5, de esto se puede observar:
 - a. Que para tuberías corta, las pérdidas locales son mucho mayores.
 - b. Para tuberías intermedias ($100 < L/D < 1000$) las pérdidas por fricción comienzan a ser apreciables.



c. En tuberías grandes ($L/D > 1000$) las pérdidas por fricción son mucho mayores, por eso en estas tuberías se suele despreciar las pérdidas locales. (Luis Emilio Pardo Aluma, Flujo de Fluidos).

- Este modelo para el cálculo de las pérdidas de presión en tuberías mediante una ecuación teórico – experimental permitirá realizar estudio friccionales en tuberías lisas y rugosas, dichos datos concuerdan con los resultados experimentales.
- El modelo obtenido tiene aplicación práctica en la obtención de la variación de la presión en tuberías que transportan agua con comportamiento newtoniano.
- De acuerdo a los cálculos realizados, con el modelo para obtener la pérdida de presión, se puede observar que conforme varía el caudal la pérdida de presión aumenta.



CONCLUSIONES

- El diámetro de una tubería debe ser más de 26.7 cm, si la pérdida de carga no debe superar 29 m. Note que Reynolds mayor de 4000 se verifica la suposición que es régimen turbulento
- En el resultado mediante la ecuación Swamee - Jain es el mismo que el obtenido con la ecuación Colebrook, inclusive con la forma manual.
- Cuando el régimen de flujo es laminar, tanto a caída de presión, la caída de carga y la potencia de bombeo son bajas.
- En régimen turbulento, la caída de presión, la caída de carga, la potencia de bombeo son altas
- La caída de flujo volumétrico no es alta



RECOMENDACIONES

- Se recomienda ,que para determinación de la caída de presión cuando el fluido fluye en tuberías, realizar las determinaciones con otros modelos
- Se debe tener en cuenta el diámetro de las tuberías, cuando se determina el flujo volumétrico, la caída de presión
- Se recomienda realizar más cálculos iterativos en la determinación cálculo del factor de fricción (f) mediante el método iterativo .
- Para el cálculo de la caída de presión , haciendo uso de la ecuación del modelo para determinación de la caída de presión, hacerlo con diferentes diámetros-



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

TEXTOS

Agüera Soriano José, Mecánica de Fluidos incomprensibles y turbo Maquinas hidráulicas, Escuela Universitaria Politécnica de Córdoba- España, Editorial Ciencias 3, S.L 1996.

Anaya Durand Alejandro Isaac, Cauich Segovia Guillermo Israel Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías, Universidad Autónoma México, 2014, Artículo.

Çengel Yunus A., Transferencia de calor. Editorial McGraw – Hill Interamericana. Segunda Edición. Impreso en México, 2004.

Chapman Alan J., Fundamentals de Heat Transfer. Editorial Macmillan Publishing Company. Printed in the United States of America, 1987.

Espinoza José y Gómez Augusto, Proceso y manufactura de una caldera piro tubular, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1984

Héctor Luis Laurencio – Alfonso Falcón, Modelo cálculo de pérdida de presión en tuberías)

Kern Donald Q., Procesos de transferencia de calor. CIA. Editorial Continental. S.A. de C. V. Edición Décimo Novena, México, 1986.

Manrique Valadez José Ángel, Mecánica der Fluidos. Editorial Oxford



University Press, Segunda edición. Impreso en México, 2002.

Martin Domingo Agustín, Apuntes de mecánica de Fluidos Texto y Figuras
Departamento de Física e Instalaciones, Universidad Politécnica
de Madrid, Madrid, España, 2011

Pardo Aluma Lis Emilio, Flujo de Fluidos

Salvador de las Heras, Mecánica de Fluidos en Ingeniería primera edición,
Barcelona España, Universidad Politécnica Catalunya, 2012.

Santillana Jaime y Salinas de Santillana Julia, Mecánica de Fluidos para
Ingenieros de procesos, Universidad Nacional de Ingeniería, M.S
in Ch.E. (U – Wisconsin Madison, Illinois Urbana Champaign)
Usa. 2017

Shames H. Irving, Mecánica de Fluidos, tercera edición, Editorial Mc Graw
Hill,, Interamecanica S.A. Santafé de Bogotá, Colombia, 1995

Soto Agüera Andrés, Flujo por tuberías de Fluidos Incomprensibles,
Profesor Asociado, de Ingeniería Química Industrial y del medio
Ambiente. Universidad politécnica, Madrid. 2004

Spigel Murria R., Fórmulas y tablas de Matemática Aplicada. Editorial
McGraw – Hill / Interamericana de España S. A. U. Segunda
Edición, Impreso en España, 2005

Yunus A. Cengel, Mecánica de Fluidos, Aplicaciones, Editorial Mc
Graw Hill, Primera Edición Impreso en México 2006

Zaragoza Grife Nicolás, Baeza Pereyra Julio R, Determinación



para aplicaciones y el método de aproximación de punto fijo,
Zaragoza, España 2003.

ARTÍCULOS DE INTERNET

John M. Cimbala, Mecánica de Fluidos Fundamento y Ángeles Montiel

Vicente, Aplicaciones simplificada de la fórmula de Dary

Weisbach a los sistemas de riego a presión, Artículo I Congreso
Nacional Comell, Instituto Mexicano de Tecnología del agua

México, 2015

Camaraza Medina Yanan, García Morales Oswaldo Fidel, Landa García

Juan, "Ecuación explicitas para el cálculo de factores de fricción en
la zona transición del régimen turbulento", Matanzas Cuba, 2010

Sánchez A. Manuel, Alba Juez Francisco, Modelo Paramétrico de

caracterización de accesorios para redes hidráulicas, Universidad
Nacional de San Juan, Departamento de Ingeniería Mecánica

Aplicada, San Juan Argentina, 2008



ANEXOS

A.1

Matriz de consistencia, proyecto de investigación.

“MODELO PARA CALCULO DE PERDIDAS DE PRESION EN TUBERIAS CONDUCTORAS DE AGUA EN REGIMEN LAMINAR Y REGIMEN TURBULENTO”

A.2

Diagrama de MOODY



<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo se realizara el modelo para el calculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en regimen laminar y regimen turbulento?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Realizar el modelo para el calculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en regimen laminar y turbulento?</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Es posible realizar modelos para el calculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en regimen laminar y turbulento?</p>	<p>METODOLOGÍA</p> <p>Para lograr los objetivos propuestos en este trabajo de investigación, relacionado con el Modelo para cálculo de pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento e utilizará la siguientes métodos: método descriptivo , deductivo y el analítico</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cuáles son las informaciones o fuentes disponibles para realizar el modelamiento para el cálculo de las pérdidas de presión en tuberías conductoras de agua?</p> <p>¿Cómo y con qué ecuaciones se aplicarán en el modelo para el cálculo de las pérdidas de presión en régimen laminar y turbulento?</p> <p>¿Cuál será el modelo para el cálculo de las variaciones de presión en el transporte por tuberías de agua y también mediante un programa de cómputo?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las fuentes para realizar el modelamiento para el cálculo de las pérdidas de carga por presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y turbulento • Cómo y con qué ecuaciones se aplicarán para el cálculo de las pérdidas de presión por fricción en tuberías rectas y en accesorios • Realizar el modelo para el cálculo de la variaciones de presión en el transporte por tuberías de agua y también mediante un programa de cómputo 	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las fuentes seleccionadas permitirán realizar el determinación del modelamiento para realizar el cálculo de las pérdidas de carga por presión en tuberías conductoras de agua en régimen laminar y en régimen turbulento. • Las ecuaciones formuladas partirían realizar los cálculos de las pérdidas de presión en tuberías rectas y en accesorios. • Es posible hallar el modelo para el cálculo de la caída de presión en el transporte por tuberías de agua también mediante un programa de cómputo. 	<p>Las variables son las siguientes:</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Y = realizar el modelo para evaluar la caída de presión en flujo laminar y turbulento</p> <p>Variables independientes</p> <p>X1 = Ecuaciones de diseño para determinar la caída de presión, factor de fricción, en régimen laminar y turbulento.</p> <p>X2 = Realizar un programa de computo.</p> <p>Operacionalización de las variables</p> $Y = f(X1, X2)$ <p>INDICADORES:</p> <p>masa de agua,(kg/h), calor transferido (kcal/h)</p> <p>Caída de presión, (Pa); área de transferencia (m²), Rendimiento, (η).</p>

A.2 Diagrama de Moody (Para determinar el factor de fricción)

