



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FLUJO Y CAÍDA DE
PRESIÓN EN TUBERÍAS HORIZONTALES VARIANDO EL DIÁMETRO
INTERNO Y LA FRICCIÓN.

ENCALADA SEVERINO ANGIE LISBETH
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FLUJO Y CAÍDA DE
PRESIÓN EN TUBERÍAS HORIZONTALES VARIANDO EL
DIÁMETRO INTERNO Y LA FRICCIÓN.

ENCALADA SEVERINO ANGIE LISBETH
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FLUJO Y CAÍDA DE PRESIÓN EN
TUBERÍAS HORIZONTALES VARIANDO EL DIÁMETRO INTERNO Y LA
FRICCIÓN.

ENCALADA SEVERINO ANGIE LISBETH
INGENIERA QUÍMICA

CARCHI TANDAZO TANYA ALEXANDRA

MACHALA, 07 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA
07 de diciembre de 2020

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE FLUJO Y CAÍDA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS HORIZONTALES VARIANDO EL DIÁMETRO INTERNO Y LA FRICCIÓN

por Angie Lisbeth Encalada Severino

Fecha de entrega: 18-nov-2020 07:07p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1450528523

Nombre del archivo: PROYECTO_EXAMEN_PRACTICO_18-11_docx.asd_1.pdf (291.08K)

Total de palabras: 3993

Total de caracteres: 18777

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, ENCALADA SEVERINO ANGIE LISBETH, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Determinación de la capacidad de flujo y caída de presión en tuberías horizontales variando el diámetro interno y la fricción., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 07 de diciembre de 2020



ENCALADA SEVERINO ANGIE LISBETH
0706481330

DEDICATORIA

Se la dedica al dueño de mi vida y de mi alma, a mi padre celestial por ser quién me sostiene con su mano poderosa, porque nunca me ha dejado sola a pesar de las circunstancias y adversidades en las que me he encontrado, porque me levanta de mi continuo tropiezo, por sus bendiciones y misericordia para conmigo porque siempre ha sido bueno a pesar del tiempo.

A mi familia, mi madrecita Soledad Severino y mis hermanos Oscar, Daniel, Carolina y Cristina Encalada por estar presentes durante todo el tiempo de mi preparación profesional por su apoyo, comprensión y todas las palabras de motivación, a todas las personas que estuvieron presentes antes y durante mi proceso.

A mi novio Steven Ayala por ser una excelente persona por motivarme y darme palabras de superación por su valioso tiempo porque ha estado conmigo en los momentos más difíciles, te lo dedico de todo corazón.

Angie Lisbeth Encalada Severino

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco principalmente a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, por darme las fuerzas necesarias para seguir superándome con esfuerzo y dedicación por la paciencia y sabiduría brindada.

También quiero agradecer a la persona más importante de mi vida; mi madre Solcito Severino, porque gracias a ella, soy una persona de bien y a través de estas líneas quiero agradecer por todo, por su apoyo, su amor, su ternura y la dedicación que me ha brindado a lo largo de mi vida y de esta nueva experiencia como esta haber podido terminar mis estudios en la Universidad Técnica de Machala, agradecer también por su paciencia, su comprensión y sus consejos y agradezco a Dios por haberme puesto un ángel tan lindo y especial como es mi madre.

De la misma manera extendiendo mis agradecimientos a mi novio Steven Ayala por su ayuda idónea por su paciencia, amor, cariño y comprensión porque ha estado siempre cuando más lo he necesitado, porque nunca me ha dejado sola a pesar de las circunstancias, por su dirección y ayuda en este momento, no fue fácil concluir con éxito este proyecto sin embargo siempre me motivaste y me diste esperanzas, siempre me decías que lo lograría perfectamente. Me ayudaste hasta donde te era posible e incluso mucho más que eso.

Muchas gracias, Amor.

Agradecer a todos los docentes que fueron parte de mi vida estudiantil por compartir sus conocimientos y sabiduría en especial a mi tutora Ing. Tanya Carchi por su apoyo y dirección en este proyecto porque es de mucha ayuda para la culminación de mis estudios universitarios.

Angie Lisbeth Encalada Severino

RESUMEN

El estudio del movimiento de los fluidos mediante tuberías implica el uso de diferentes ecuaciones como son; la ecuación de Bernoulli, Swamme-Jain y Darcy Weisbach, para efectos del presente proyecto se realizará variaciones en dos parámetros de la tubería siendo el diámetro interno y la rugosidad a fin de mejorar la capacidad de flujo y reducir la caída de presión del fluido al pasar de un equipo a otro.

En el presente proyecto se espera obtener la variación en la capacidad de flujo y los cambios en la presión para mejorar las condiciones de flujo, con lo cual es necesario identificar las variables que tengan una mayor influencia en la capacidad de flujo y en las pérdidas de energía cinética a través de la tubería, permitiendo una toma de decisión más acertada al momento de optimizar el transporte de fluido.

Entre las ecuaciones existentes para el estudio de los fluidos se utilizará la ecuación general de la energía propuesta por Bernoulli para determinar las variaciones en la caída de presión, dentro de ella se sustituirá la ecuación de la pérdida de carga por fricción propuesta por Darcy para obtener la variación de la presión del fluido, adicional se calculará la capacidad de flujo másico y volumétrico utilizando la ecuación de continuidad propuesta por Leonhard Euler.

La variable que más incide en la capacidad de flujo es el diámetro de la tubería al presentar una reducción de está. Pese a la disminución de la fricción la capacidad de flujo no aumenta.

PALABRAS CLAVES

Fricción, caída de presión, diámetro interno, tubería, capacidad de flujo.

ABSTRACT

The study of the movement of fluids through pipes implies the use of different equations such as; the Bernoulli, Swamme-Jain and Darcy Weisbach equation, for the purposes of this project, variations will be made in two parameters of the pipe being the internal diameter and roughness in order to improve the flow capacity and reduce the pressure drop of the fluid to the move from one team to another.

In this project, it is expected to obtain the variation in the flow capacity and the changes in the pressure to improve the flow conditions, with which it is necessary to identify the variables that have a greater influence on the flow capacity and the losses of kinetic energy through the pipeline, allowing a more accurate decision making when optimizing fluid transport.

Among the existing equations for the study of fluids, the general equation of energy proposed by Bernoulli will be used to determine the variations in the pressure drop, within it the equation of the pressure loss due to friction proposed by Darcy will be substituted to obtain the variation in fluid pressure, additional mass and volumetric flow capacity will be calculated using the continuity equation proposed by Leonhard Euler.

The variable that most affects the flow capacity is the diameter of the pipe as it presents a reduction in this. Despite the decrease in friction, the flow capacity does not increase.

KEYWORDS

Friction, pressure drop, internal diameter, pipe, flow capacity.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| OBJETIVOS..... | 2 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 2 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 2 |
| 1. DESARROLLO..... | 3 |
| 1.1. PRINCIPIO DE BERNOULLI..... | 3 |
| 1.2. PARÁMETROS DEL FLUJO..... | 4 |
| 1.2.1. Caudal..... | 4 |
| 1.2.2. Velocidad | 4 |
| 1.2.3. Presión manométrica | 4 |
| 1.3. NÚMERO DE REYNOLDS | 4 |
| 1.3.1. Flujo laminar | 5 |
| 1.3.2. Flujo en zona de transición..... | 5 |
| 1.3.3. Flujo turbulento | 5 |
| 1.4. DIAGRAMA DE MOODY PARA DETERMINAR FACTOR DE FRICCIÓN . | 5 |
| 1.5. PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS | 7 |
| 1.5.1. Factor de fricción | 7 |
| 1.5.2. Ecuación de Swamee-Jain..... | 7 |
| 1.5.3. Ecuación de Darcy Weisbach..... | 8 |
| 1.5.4. Ecuación de la caída de presión | 8 |
| 1.6. CAPACIDAD DE FLUJO DENTRO DE TUBERÍAS | 9 |
| 1.6.1. Flujo volumétrico | 9 |
| 1.6.2. Flujo másico | 10 |
| 1.7. CASO PRÁCTICO..... | 10 |
| 1.7.1. TUBERÍA RUGOSA | 10 |
| 1.7.2. TUBERÍA LISA INTERNA | 12 |
| 1.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 13 |
| 2. CONCLUSIÓN | 15 |
| 3. BIBLIOGRAFÍA..... | 16 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Comparación de resultados..... | 14 |
|--|----|

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1 Diagrama de Moody..... | 6 |
| Ilustración 2. Descripción de la tubería rugosa | 10 |
| Ilustración 3 Descripción de la tubería lisa interna | 12 |

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

P= Presión (N/m²)

Y= Peso específico (N/m³)

g= Gravedad (m/s²)

Z= Elevación (m)

h_l= Pérdidas friccionales totales en tuberías

h_g= Carga de bombeo

h_e= Carga de extracción por turbina

Q= Caudal (m³/s)

A= Área (m²)

Re= Número de Reynolds (adimensional)

V= Velocidad del flujo (m/s)

D= Diámetro de la tubería (m)

ρ= Densidad del fluido (kg/m³)

u= Viscosidad cinemática (m²/s)

ε= Épsilon

h_f= Pérdida de fricción (m)

f= Factor de fricción (adimensional)

L=Longitud (m)

ΔP= Caída de presión (KPa)

v= Flujo volumétrico (m³/seg)

r = Radio (m)

m= Flujo másico (kg/seg)

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto, se propone determinar la capacidad de flujo y la variación de la caída de presión en tuberías horizontales ante cambios en el diámetro interno y la fricción, el fluido en este caso el agua, se conduce a través de una tubería la cual presenta pérdidas de energías por el rozamiento en relación con el agua y las paredes internas de la tubería, ocasionando una caída de presión del flujo en régimen turbulento.

El estudio conceptual de las diferentes variables relacionadas al comportamiento del flujo y la incidencia de las condiciones características y configuraciones presentadas en las tuberías para el flujo de fluidos entre equipos permitirá una mejor comprensión del análisis matemático; el análisis técnico de los resultados, describirán los efectos que se obtendrán ante los cambios realizados en parámetros o condiciones iniciales de la tubería, como son: variaciones en el diámetro interno y la consideración despreciable de la fricción que son importantes para obtener un mejor rendimiento al fluir, si se refiere a la capacidad de flujo, esperando una caída de presión inferior como resultado de la reducción en la fricción¹.

Es necesario conocer que el fluido sometido a análisis se encuentra en movimiento, incurrimos en el uso de la ecuación general de la energía propuesta por Bernoulli y su análisis a través de la cuantificación de variaciones en los diferentes tipos de energía que podrían evidenciarse, permitiéndonos conocer cambios significativos en la energía cinética y la presión del flujo dentro de la tubería².

Adicional, es importante tener en cuenta que el estudio de un fluido conducido a través de tuberías conlleva un conocimiento previo de las características de la tubería, tales como: longitud, diámetro interno, rugosidad, tipo de material, accesorios, elevación, entre otros, así como también de las características intrínsecas y extrínsecas del fluido como viscosidad, densidad y temperatura, mismas que nos ayudarán en un estudio realista de los cambios ocurridos³.

Para el estudio y resolución del presente caso se necesita conocer: las características del flujo, el número de Reynolds, con lo cual lograremos definir las directrices y ecuaciones adecuadas para la obtención y cálculo de variables para el estudio de optimización de flujo presentado a continuación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad de flujo y caída de presión en tuberías horizontales variando el diámetro interno y la fricción para mejorar las condiciones del flujo entre equipos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables que inciden en la capacidad y comportamiento del flujo.
- Calcular la variación de la caída de presión y la capacidad de flujo en tuberías con cambios en el diámetro interno y la fricción.
- Comparar e interpretar los resultados obtenidos de capacidad de flujo y caída de presión en tuberías horizontales.

1. DESARROLLO

1.1. PRINCIPIO DE BERNOULLI

El principio de Bernoulli con la ecuación general de la energía ayuda a la descripción del comportamiento de fluidos a lo largo de tuberías realizando un análisis de fluidos reales, para los cuales se deben tomar en cuenta factores que afectan a las condiciones iniciales del fluido tales como viscosidad, pérdidas de carga por fricción expresados como magnitud lineal o accesorios, lo cual disminuye la energía cinética del fluido⁴. Bernoulli en su ecuación describe transformaciones de diferentes tipos de energía que afectan al flujo y a la conservación de energía siendo estas de presión, cinética, potencial, las pérdidas de energía o cargas por fricción y accesorios⁵.

Ecuación general de la energía

En la ecuación 1 se describe la ecuación general de la energía de Bernoulli eliminando de la expresión la energía potencial, carga de bombeo, carga de turbina, y las variaciones en la velocidad ya que es una tubería recta horizontal, mientras que en la ecuación 1.1 se observa la presión y pérdida de carga por fricción.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 + h_g - h_R - h_f = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} - h_f = 0 \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

P= Presión (N/m²)

ρ = Densidad (kg/m³)

V= Velocidad (m/s)

Z= Elevación (m)

h_f= Pérdidas friccionales totales en tuberías

h_g= Carga de bombeo

h_r= Carga de extracción por turbina

1.2. PARÁMETROS DEL FLUJO

1.2.1. Caudal

Cantidad de fluido que recorre de un punto inicial a un punto final en un tiempo dado, sus unidades son centímetros cúbicos sobre minutos (cm^3/min) o litros sobre segundos (lt/s)⁶. En la ecuación 2 se muestra la ecuación para calcular el caudal.

$$Q = A \cdot V \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Q= Caudal (m^3/s)

A= Área (m^2)

V= Velocidad del fluido (m/s)

1.2.2. Velocidad

Es la velocidad media con la que se desplaza un fluido a lo largo de un conducto en un tiempo determinado y se expresa en unidad metros sobre segundos (m/s).

1.2.3. Presión manométrica

Es la resta de la presión atmosférica a la presión absoluta dentro de un tubo, la presión manométrica debe ser positiva y menor que la presión atmosférica, en caso de ser negativa se la conoce como presión de vacío⁶.

1.3. NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds nos arroja un valor adimensional este define el comportamiento de los fluidos ya sea laminar de transición y turbulento, de este dependen varios parámetros como son; viscosidad, velocidad, densidad y el diámetro de la tubería⁷. En la ecuación 3 se visualiza la fórmula para calcular el Número de Reynolds.

$$R_e = \frac{V \cdot D_i \cdot \rho}{u} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

R_e = Número de Reynolds (adimensional)

V= Velocidad del flujo (m/s)

D= Diámetro de la tubería (m)

ρ = Densidad del fluido (kg/m)

u= Viscosidad cinemática (m^2/s)

1.3.1. Flujo laminar

Para determinar el comportamiento de un fluido con viscosidad constante se procede a calcular a través del número de Reynolds, esto nos indica que si es menor a 2000 el flujo es laminar, el desplazamiento del fluido lleva un orden específico y recorre la tubería en forma paralela⁸. En la expresión 1 se puede observar el rango que tiene el número de Reynolds para un flujo laminar.

$$Re < 2000 \qquad \text{Expresión 1}$$

1.3.2. Flujo en zona de transición

En esta zona el flujo tiene una conducta en base al número de Reynolds menor a 2000 y menor a 4000 el cual se le denomina zona crítica, esta se encuentra en la mitad es decir parte de ella es turbulenta y parte laminar⁸. En la expresión 2 se puede visualizar el rango de número de Reynolds que se considera como zona de transición.

$$2000 < Re < 4000 \qquad \text{Expresión 2}$$

1.3.3. Flujo turbulento

Los fluidos newtonianos en esta zona se encuentran en completa turbulencia, parten de un rango mayor a 4000 según el número de Reynolds, estos fluidos recorren la tubería de forma desordenada⁹. En la expresión 3 se observa el rango que el número de Reynolds se considera para el flujo turbulento.

$$Re > 4000 \qquad \text{Expresión 3}$$

1.4. DIAGRAMA DE MOODY PARA DETERMINAR FACTOR DE FRICCIÓN

Diagrama universal que lleva el nombre del científico Lewis Ferry Moody, el cual permite obtener el coeficiente o factor de fricción, la lectura se efectúa ubicando el número de Reynolds e interceptando con las curvas correspondientes a la rugosidad relativa, realizando la lectura del factor de fricción en la ordenada izquierda¹⁰.

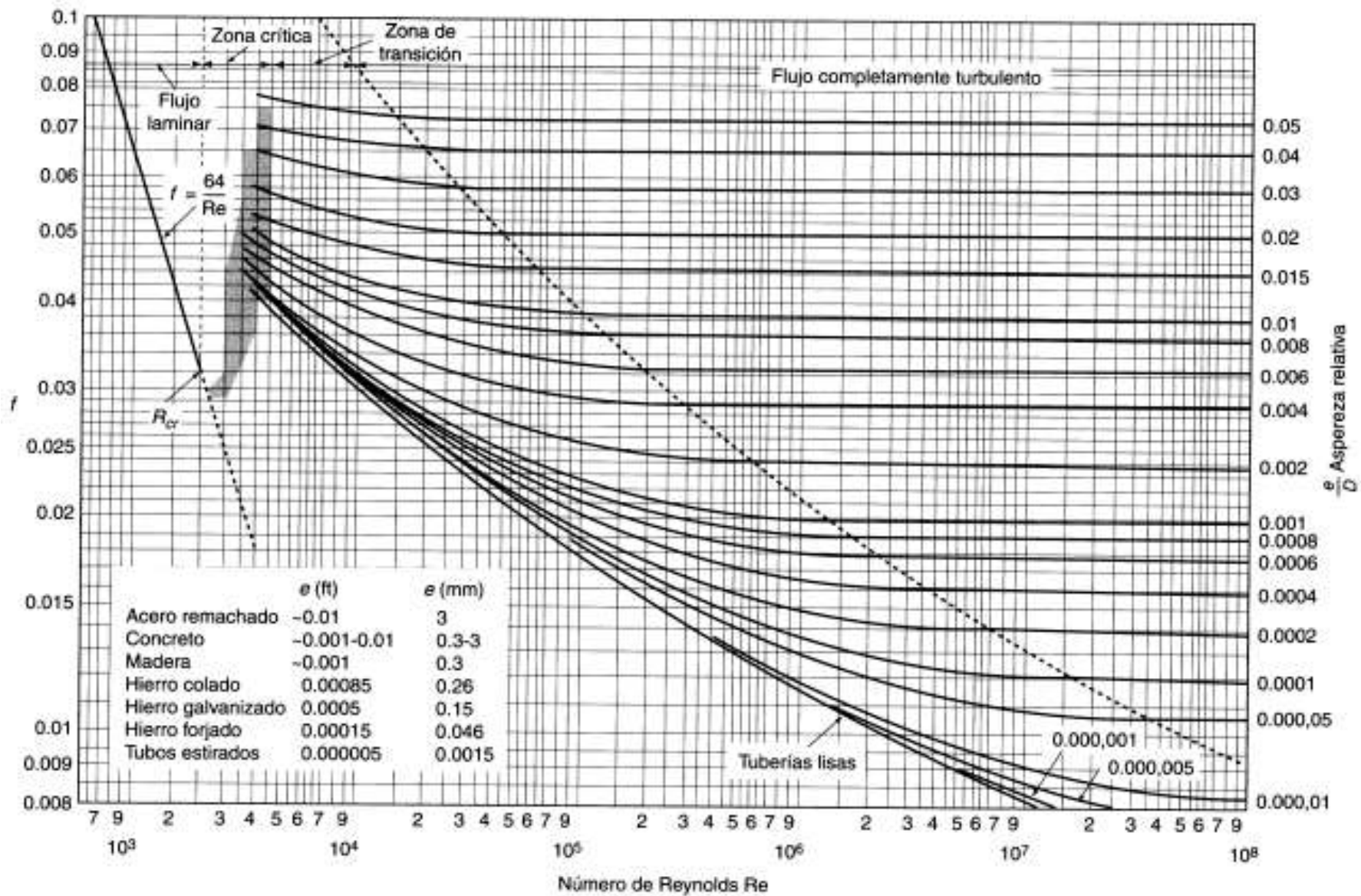


Ilustración 1 Diagrama de Moody.

Fuente: ¹¹

1.5. PÉRDIDAS DE CARGAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS

La pérdida de carga por fricción o la disminución de la energía por causa del roce del flujo con las paredes del tubo, aumenta conforme mayor es el área de contacto en relación con el fluido y la tubería por el cual se transporta, esto está relacionado con la longitud de la tubería y el diámetro y se la estima con el factor de fricción de Darcy-Weisbach¹². Las tuberías para la conducción de un fluido pueden estar construidas de diferentes tipos de materiales, siendo estos plásticos, acero, concreto entre otras, para los cuales se encuentra definido la rugosidad promedio, la cual ayudará a encontrar la rugosidad relativa, cabe recalcar la importancia del material de construcción de la tubería en relación con las pérdidas de energía que podrían causarse por esta característica¹³.

1.5.1. Factor de fricción

Dentro del estudio de fluidos en movimiento encontramos variables que afectan en el flujo de fluidos dentro de tuberías, entre ellas es importante considerar que se encuentran en fricción el fluido y las paredes del tubo a lo largo de la trayectoria ocasionando pérdida presión. Dentro de la operación de un proceso industrial es importante conocer estas variaciones de presión para una correcta ejecución de este. La disminución en la presión puede determinarse a través del teorema de Bernoulli para fluidos incompresibles y las pérdidas de cargas por fricción¹⁴, se las deduce con la ecuación de Darcy Weisbach (ver ecuación 4) para lo que se necesita conocer el factor de fricción f , la misma que depende de la rugosidad relativa (E/D) la cual es la relación entre la longitud media de la rugosidad del material con el diámetro del tubo y el número de Reynolds¹⁵.

En la ecuación 4 se visualiza la fórmula del factor de fricción para flujos laminares.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

f = Factor de fricción

Re = Número de Reynolds

1.5.2. Ecuación de Swamee-Jain

Esta ecuación fue planteada por Swamme-Jain en el año 1976 para determinar el coeficiente de fricción para flujos turbulentos en la mecánica de fluidos, con esta se pretende calcular la pérdida de carga por fricción en tuberías¹⁶. En la siguiente expresión se observa la ecuación 5 para la comprobación del coeficiente de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left(\frac{\epsilon}{3.7 D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right\}^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

f= Factor de fricción

D= Diámetro de la tubería (m)

Re= Número de Reynolds (adimensional)

ϵ = Épsilon

1.5.3. Ecuación de Darcy Weisbach

A través del tiempo se ha podido determinar la resistencia del flujo en tuberías a partir de varios autores como; Darcy, Blacios, Weisbach, Poiseuille, Colebrook y Moody¹⁷, la ecuación más importante y más utilizada en la actualidad es la de Darcy-Weisbach en relación con Moody, ya que permite calcular pérdida de energía cinética, y pérdida de carga por fricción, es decir permiten trazar sistemas que trasladan fluido de un punto inicial a un punto final¹⁸. En la ecuación 6 se observa la fórmula de pérdida de carga hidráulica.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

hf= Pérdida de carga por fricción

f= Factor de fricción (adimensional)

V= Velocidad del fluido (m/s)

L=Longitud (m)

D= Diámetro de la tubería (m)

g= Gravedad (m/s²)

1.5.4. Ecuación de la caída de presión

Esta expresión se la obtiene a partir de la ecuación general de energía dada por el científico Daniel Bernoulli, permite la estimación de la variación de la presión a lo largo de una tubería. En la primera expresión la igualamos a cero para poder despejar la variación de la caída de presión y sustituimos esta expresión por la ecuación de pérdida de carga por fricción de Darcy Weisbach y la segunda ecuación planteada es la que utilizamos en el desarrollo del caso práctico. En ecuación 7 se describe la igualación y en la ecuación 7.1 la fórmula de la caída de presión.

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{f L V^2}{D 2g} = 0 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\Delta P = \frac{f L V^2}{D 2g} \cdot \rho \quad \text{Ecuación 7.1}$$

Donde

ΔP = Caída de presión (KPa)

ρ = Densidad del fluido (kg/m)

F= Factor de fricción

L= Longitud de la tubería (m)

V= Velocidad del fluido (m/seg)

D= Diámetro de la tubería (m)

1.6. CAPACIDAD DE FLUJO DENTRO DE TUBERÍAS

En un proceso para el cual se necesite desplazar algún fluido de un equipo a otro, a través de una tubería o ya sea para la distribución de agua en una industria química, es importante medir la cantidad de fluido que pasa de un punto ‘a’ a un punto ‘b’ en una tubería, de esta manera se puede controlar y cuantificar la dosificación del flujo así como también los tiempos de llenado de un equipo o tanque de almacenamiento, esta cuantificación puede estar en relación del volumen de flujo o de la cantidad de masa desplazada como fluido¹⁹. Para la estimación de este parámetro de flujo se utiliza la ecuación matemática propuesta por el científico Leonhard Euler para la mecánica de fluidos no viscosos²⁰.

1.6.1. Flujo volumétrico

Es la capacidad que tiene el volumen del fluido para trasportarse de un punto inicial a un punto final en un cierto tiempo y área determinada, existen varios equipos dedicados a la cuantificación o estimación del volumen de fluido desplazado a través de la tubería, estos equipos pueden ser de medición directa como desplazamiento de un dispositivo rotatorio, o la estimación a través de condiciones de flujo como variaciones de presión y velocidad de flujo simulando el tubo de Venturi, las mediciones de flujo volumétrico o capacidad de flujo son las más utilizadas en la industria²¹. La fórmula del flujo volumétrico se muestra en la ecuación 8.

v = velocidad . área

$$v = V. \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{Ecuación 8}$$

Donde

v = Flujo volumétrico (m³/s)

V= Velocidad del fluido (m/s)

r = Radio (m)

1.6.2. Flujo másico

Es la capacidad que tiene la masa de una sustancia para trasladarse de un punto a otro en un cierto tiempo y área determinada, la cuantificación del flujo en las operaciones de una industria usualmente se las realiza en unidades de volumen, sin embargo, la cuantificación del flujo másico en ocasiones es utilizada a fin de garantizar la correcta dosificación reduciendo desviaciones en la cuantificación del fluido, en el caso de un uso simultáneo de cuantificadores de flujo másico y volumétrico, el flujo másico se lo estima a partir del uso de la compensación de presión y temperatura datos que se los obtiene del medidor de flujo volumétrico²¹.

La fórmula para calcular el flujo másico se muestra en la ecuación 9.

$$m = \rho \cdot v \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

m= Flujo másico (kg/s)

ρ = Densidad del fluido (kg/m)

v = Flujo Volumétrico

1.7. CASO PRÁCTICO

En una industria química, una tubería de acero de 2 pies de diámetro conduce agua a 15 pies/s de un equipo a otro. Si la tubería tiene una rugosidad de 0,0003 pies, ¿podría aumentarse la capacidad mediante un recubrimiento liso de plástico que redujese el diámetro interior a 1,9 pies? Calcúlese la variación de la caída de presión para el mismo flujo, así como la variación de la capacidad para una caída de presión dada²².

1.7.1. TUBERÍA RUGOSA

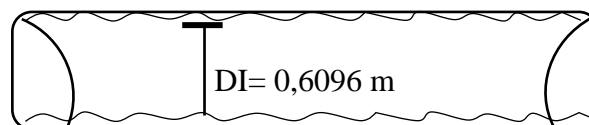


Ilustración 2. Descripción de la tubería rugosa

Fuente: Elaboración propia

Datos

Fluido= Agua

Diámetro interno= 2 pies (0,6096 m)

Velocidad de flujo= 15 pies/seg (4,572 m/seg)

Rugosidad= 0,0003 pies (9.144×10^{-5} m)

Densidad= 1000 kg/m³

Longitud= 20 m (base de cálculo)

Viscosidad= $1,0 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$

| Conversiones de unidades | |
|--------------------------|---|
| 2 pie | $= \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ pie}} = 0,6096 \text{ m}$ |
| 15 pie | $= \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ pie}} = 4,572 \text{ m}$ |
| 0,0003 pie | $= \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ pie}} = 0,9144 \text{ m}$ |

| Flujo volumétrico |
|---|
| $v = \text{velocidad} * \text{area}$ |
| $= 4,572 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi \left(\frac{0,6096 \text{ m}}{2} \right)^2$ |
| $= 1,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ |

| Flujo másico |
|--|
| $m = \text{densidad} * f \text{ volumetrico}$ |
| $= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,33 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ |
| $= 1330 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ |

- Número de Reynolds

$$\mathbf{Nr} = \frac{D_i \cdot V \cdot \rho}{u}$$

$$\mathbf{Re} = \frac{(0,6096\text{m}) \cdot (4,572\text{m/s}) \cdot (1000 \text{ kg/m}^3)}{1,0 \times 10^{-3} \text{ N.seg/m}^2}$$

$$\mathbf{Re} = 2787091,4 \text{ (régimen turbulento)}$$

- Factor de fricción a partir del diagrama de Moody

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{9,14 \times 10^{-5}}{0,6096 \text{ m}}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0,00015 \rightarrow (1,5 \times 10^{-4})$$

$$\mathbf{f} = 0,013$$

- Factor de fricción mediante la ecuación de Swamee-Jain

$$\mathbf{f} = \frac{0,25}{\left\{ \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right\}^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log \left(\frac{9,14 \times 10^{-5}}{3.7 (0,6096 \text{ m})} + \frac{5.74}{(2787091,2^{0.9})} \right) \right\}^2}$$

$$f = 0,013$$

- Pérdida de carga por fricción

$$hf = f \frac{l \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

$$hf = (0,013) \frac{(20\text{m}) \cdot (4,572)^2}{(0,6096\text{m}) \cdot 2(9,81\text{m/s}^2)}$$

$$hf = 0,4544 \text{ m}$$

- Caída de presión en tuberías

$$\Delta P = \frac{f L V^2}{2D} \cdot \rho$$

$$\Delta P = \frac{(0,013) \cdot (20\text{m}) \cdot (4,572)^2}{(0,6096\text{m}) \cdot 2(9,81\text{m/s}^2)} \cdot (1000 \text{ kg/m}^3)$$

$$\Delta P = 454,4 \text{ Kpa}$$

1.7.2. TUBERÍA LISA INTERNA

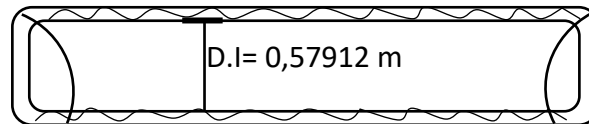


Ilustración 3 Descripción de la tubería lisa interna

Fuente: Elaboración propia

Datos

Fluido= Agua

Diámetro interno= 1.9 pies (0,57912 m)

Velocidad de flujo= 15 pies/seg (4,572 m/seg)

Densidad= 1000 kg/m³

Longitud= 20 m (base de cálculo)

Viscosidad= 1,0x10-3 N.s/m²

Flujo volumétrico

$$v = \text{velocidad} \cdot \text{área}$$

$$= 4,572 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi \left(\frac{0,57912\text{m}}{2} \right)^2$$

$$= 1,2043 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Flujo másico

$$m = \text{densidad} \cdot \text{f volumétrico}$$

$$= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,2043 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$= 1204,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- Número de Reynolds

$$\mathbf{Re} = \frac{(0,57912\text{m}). (4,572\text{m/s}). (1000 \text{ kg/m}^3)}{1,0 \times 10^{-3} \text{ N. seg/m}^2}$$

$$\mathbf{Re} = 2647736,64 \text{ (régimen turbulento)}$$

- Factor de fricción a partir del diagrama de Moody

$$\frac{\epsilon}{\mathbf{D}} = \frac{0}{0,57912 \text{ m}}$$

$$\mathbf{f} = 0,01$$

- Factor de fricción mediante la ecuación de Swamee- Jain

$$\mathbf{f} = \frac{0.25}{\left\{ \log \left(\frac{\epsilon}{3.7 \mathbf{D}} + \frac{5.74}{\mathbf{Re}^{0.9}} \right) \right\}^2}$$

$$\mathbf{f} = \frac{0,25}{\left\{ \log \left(\frac{0}{3.7 (0,57912 \text{ m})} + \frac{5.74}{(2647736,64^{0.9})} \right) \right\}^2}$$

$$\mathbf{f} = 0,0099 \rightarrow 0,01$$

- Pérdida de carga por fricción

$$\mathbf{hf} = (0,01) \frac{(20\text{m}). (4,572)^2}{(0,57912\text{m}). 2(9,81\text{m/s}^2)}$$

$$\mathbf{hf} = 0,3679 \text{ m}$$

- Caída de presión en tuberías

$$\Delta \mathbf{P} = \frac{(0,01). (20\text{m}). (4,572)^2}{(0,57912\text{m}) 2(9,81\text{m/s}^2)} \cdot (1000 \text{ kg/m}^3)$$

$$\Delta \mathbf{P} = 367,9 \text{ Kpa}$$

1.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Realizando un análisis del flujo del fluido a través de la tubería por medio de los resultados obtenidos se puede evidenciar que tanto el flujo volumétrico como el másico son mayores en la tubería rugosa y esto es por el mayor diámetro interno, la capacidad de flujo se ve reducida al colocar un recubrimiento liso al interior de la tubería rugosa disminuyendo el diámetro interno. Adicional, mediante el cálculo del número de Reynolds se define al régimen turbulento con el cual fluye el agua al interior de la tubería.

Durante el paso del fluido al interior de la tubería existen pérdidas de energía cinética por diferentes factores, en este caso el factor a analizar es la fricción, lo cual conlleva una mayor pérdida de energía cinética en el fluido que es conducido a través de la tubería rugosa 0.45 con relación a 0.36 en el caso de la tubería de plástico liso usado como recubrimiento interno.

Existe una variación en la caída de presión del fluido al realizar cambios en la rugosidad y el diámetro interno de una tubería, obteniendo una menor caída de presión desde el ingreso hasta la salida del fluido cuando la rugosidad es menor debido al recubrimiento liso, pese a la disminución del diámetro interno de la misma.

Tabla 1 Comparación de resultados

| CARACTERISTICAS DE FLUJO | TUBERÍA RUGOSA | TUBERÍA LISA INTERNA |
|---|--|--|
| FLUJO VOLUMÉTRICO | 1.33 $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ | 1,2043 $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ |
| FLUJO MÁSSICO | 1330 $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ | 1204,3 $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ |
| NÚMERO REYNOLDS | 2.78x10 ⁶ (régimen turbulento) | 2.65x10 ⁶ (régimen turbulento) |
| PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN | 0,4544 m | 0,3679 m |
| CAÍDA DE PRESIÓN | 454,4 Kpa | 367,9 Kpa |
| VARIACIÓN DE LA CAÍDA DE PRESIÓN | 86,5 Kpa | |

Fuente: Elaboración propia

2. CONCLUSIÓN

En la industria química en el paso de un fluido de un equipo o tanque de almacenamiento hacia otro, usualmente es de preferencia un mayor flujo volumétrico ante una menor caída de presión del fluido por interferencias como la fricción, ya que esto permitirá obtener una reducción en el tiempo de llenado o trasvase y con ello una reducción en el costo operativo y energético del proceso productivo.

El análisis de las condiciones de flujo fue dada por dos configuraciones de rugosidad y diámetro interno en la tubería, a fin de mejorar la capacidad de flujo y reducir la caída de presión del fluido al pasar de un equipo a otro, se logra establecer la capacidad del flujo en ambas configuraciones y determinamos que va a ser inferior cuando el diámetro interno de la tubería es reducido por el recubrimiento interno, con lo cual se obtiene un mayor flujo volumétrico en la tubería rugosa con mayor diámetro; sin embargo al determinar la caída de presión se establece que con el recubrimiento interno liso de plástico se reduce la pérdida de carga o energía cinética por causa de la fricción y se obtiene una menor caída de presión en el flujo desde el ingreso hasta la salida del fluido a través de la tubería.

Por lo tanto, no se obtendrá una mayor capacidad de flujo en la tubería a la cual se le realizó un recubrimiento interno liso debido a la reducción del diámetro interno de la misma.

3. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Chakraborty, R. PIPE FLOW ANALYSIS AND ITS INVESTIGATION FOR THE SELECTION OF. **2016**, No. December.
- (2) Robert L. Mott. Mecánica de Fluidos, Sexta Edic.; Kevin Happe, Ed.; Pearson educacion: Mexico, 2006.
- (3) Diaz, J. L.; Alvarez, H. Una Plataforma En Emso ® Para Modelar Pérdidas Por Fricción En Plantas de Procesos. Lámpsakos **2014**, 12, 79–91.
- (4) Ortiz Flórez Ramiro. Hidraulica. Generación de Energia, 2011th ed.; EDICIONES DE LA U: BOGOTA, 2011.
- (5) Streeter, V. L.; Wylie, E. B. Fluid Mechanics (Seventh Ed.). **1979**.
- (6) Tamime, A. Estimación de Pérdidas de Carga En Tuberías a Presión Mediante Un Modelo Hidráulico de Laboratorio. *Αγαη* **2019**, 8 (5), 55.
- (7) Zhou, J. Q.; Hu, S. H.; Fang, S.; Chen, Y. F.; Zhou, C. B. Nonlinear Flow Behavior at Low Reynolds Numbers through Rough-Walled Fractures Subjected to Normal Compressive Loading. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **2015**, 80, 202–218. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2015.09.027>.
- (8) Peralta, C.; Wendy, J.; Quispe, C. Factor de Fricción En Tubo de Cobre Para Flujo de Gas Propano a Baja Presión. **2019**.
- (9) Panwala, T.; Rajdev, S.; Mulla, S.; Pérez Rodríguez, N. M.; Galloway, R. L.; Blau, D. M.; Traxler, R.; Bhatnagar, J.; Zaki, S. R.; Rivera, A.; et al. Diseño y Construcción de Banco Hidráulico Para Determinar Las Pérdidas de Energía En Tuberías CVC. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **2017**, 9 (5), 1–14.
- (10) Puras, C. Universidad Andina “ Néstor Cáceres Velásquez .” **2018**.
- (11) Robert L.Mott. Mecánica de Fluidos Aplicada, cuarta edi.; Helba, S., Ed.; Mexico, 1996.
- (12) Whitaker, S. Revista Mexicana de Ingeniería Química HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF A TURBULENT FLOW IN AN ANNULAR SPACE. *Rev. Mex. Ing. Química* **2016**, 15, 149–159.
- (13) Dylan Trotsek. Evaluación de Las Pérdidas de Carga En Una Línea de Conducción de Agua, Caserío. Los Huertos, Huanchaco, Trujillo, La Libertad. *J. Chem. Inf. Model.* **2019**, 110 (9), 1689–1699.
- (14) Santos-Ruiz, I.; Bermúdez, J. R.; López-Estrada, F. R.; Puig, V.; Torres, L. Estimación Experimental de La Rugosidad y Del Factor de Fricción En Una

- Tubería. Memorias Del Congr. Nac. Control Automático, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México **2018**, 10–12.
- (15) Anaya-Durand, A. I.; Cauich-Segovia, G. I.; Funabazama-Bárceñas, O.; Gracia-Medrano-Bravo, V. A. Evaluación de Ecuaciones de Factor de Fricción Explícito Para Tuberías. *Educ. Quim.* **2014**, 25 (2), 128–134. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70535-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70535-X).
- (16) Alegret Breña, E.; Martínez Valdés, Y. Coeficiente de Hazen-Williams En Función Del Número de Reynolds y La Rugosidad Relativa. *Ing. Hidráulica y Ambient.* **2019**, 40 (3), 41–55.
- (17) Monge Freile, M.; Sánchez Delgado, M.; Huanca Velarde, L. A.; Moreno Llacza, A. El Bambú (*Guadua Angustifolia Spp.*) Como Alternativa de Conducción Para Un Sistema de Riego Por Multicompuertas. *An. Científicos* **2019**, 80 (1), 240. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i1.1391>.
- (18) Palacios, B. Universidad Nacional Agraria Universidad Nacional Agraria. Tesis **2020**, No. clase 1, 59.
- (19) Dulhoste. Jean-Francois. Medición de Flujo Introducción. *Instrumentacion* **2015**, 1–28.
- (20) Pérez Pérez Emilio; Javier, D. F. B. Introducción a La Mecánica de Fluidos. *Zaguan.Unizar.Es* **2016**, 50.
- (21) Ingenier, E. S. D. E.; Unidad, C.; Adolfo, P.; Mateos, P. E. Z. Instituto Politécnico Nacional. **2016**.
- (22) Wkren, L.; Smith, M. C.; Harriott, P. Wkren L, McCabe -Julian C. Smith - Peter Harriott; 1998.