UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DEL COSTO DIARIO DE UNA BOMBA MEDIANTE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA TRANSPORTAR AGUA DESDE UN RÍO HACIA UNA FÁBRICA.

ORDOÑEZ SEGOVIA LEYDI ENITH
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2022

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DEL COSTO DIARIO DE UNA BOMBA MEDIANTE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA TRANSPORTAR AGUA DESDE UN RÍO HACIA UNA FÁBRICA.

ORDOÑEZ SEGOVIA LEYDI ENITH
INGENIERA QUÍMICA

MACHALA
2022

UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

DETERMINACIÓN DEL COSTO DIARIO DE UNA BOMBA MEDIANTE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA TRANSPORTAR AGUA DESDE UN RÍO HACIA UNA FÁBRICA.

ORDOÑEZ SEGOVIA LEYDI ENITH
INGENIERA QUÍMICA

CARCHI TANDAZO TANYA ALEXANDRA

MACHALA, 14 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
14 de febrero de 2022

Determinación del costo diario de una bomba mediante parámetros de diseño para transportar agua desde un río hacia una fábrica.

por Leydi Enith Ordoñez Segovia

Fecha de entrega: 25-feb-2022 02:57p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1770914126
Nombre del archivo: dise_o_para_transportar_agua_desde_un_r_o_hacia_una_f_brica1.pdf (422.32K)
Total de palabras: 3904
Total de caracteres: 17413

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

La que suscribe, ORDOÑEZ SEGOVIA LEYDI ENITH, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Determinación del costo diario de una bomba mediante parámetros de diseño para transportar agua desde un río hacia una fábrica., 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 dispociones 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, 14 de febrero de 2022

ORDOÑEZ SEGOVIA LEYDI ENITH
0706222882

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le doy gracias a Dios por darme la oportunidad de concluir este proceso.

Gracias a mi esposo por estar presente en las buenas y malas. Agradezco a mis padres, tías y suegros por apoyarme emocional y económicamente.

Gracias a mi tutora y docentes que mediante el proceso me han inculcado sus conocimientos y valores.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es determinar el costo diario de una bomba utilizando parámetros de diseño para transportar agua desde un río hacia una fábrica.

Para elaborar los diagramas de flujo del proceso se utilizó un simulador de procesos llamada DWSIM, el primer diagrama se lo diseñó sin la presencia de accesorios y, el segundo diagrama se lo diseñó con dos codos estándares de 90° y una válvula de globo.

Al determinar las pérdidas por fricción total se empleó la ecuación de Darcy, la cual se utilizó los siguientes parámetros: velocidad del fluido (v), número de Reynolds (Re), rugosidad de relativa de la tubería ($\frac{\epsilon}{D}$) y factor de fricción (f); con estos parámetros y los datos del presente caso práctico se determinó la pérdida de fricción total dando un valor de 18.14 metros. Mientras que, aplicando el método de longitud equivalente se obtuvo la pérdida de fricción con accesorios un valor de 20.45 metros.

Con respecto al cálculo de la potencia suministrada por la bomba se aplicaron dos ecuaciones: la ecuación general de la energía, que permitió calcular la energía añadida por la bomba (h_b) y; la segunda es la ecuación de potencia suministrada por la bomba (P).

Finalmente, el costo diario se determinó mediante el valor de la potencia suministrada por la bomba, tiempo de operación y el costo de energía.

PALABRAS CLAVES:

Tubería, pérdidas por fricción, bomba, costo de operación.

ABSTRACT

The objective of this work is to determine the daily cost of a pump through design parameters to transport water from a river to a factory.

To elaborate the two flow process diagrams, a process simulator called DWSIM was used, where the first diagram was designed according to the problem, and the second diagram was added two standard 90° elbows and a globe valve.

To calculate the total friction losses, the Darcy equation was used, to apply this equation parameters such as: fluid velocity, Reynolds number, relative roughness of the pipe and friction factor were determined, with these parameters and the data of the problem were calculated the total friction loss giving a value of 18.14 meters. While, applying the same equation and using the equivalent length method, the friction loss due to accessories was obtained with a value of 20.45m.

Regarding the calculation of the power supplied by the pump, two equations were applied; the first is the general energy equation, in which the total friction loss was used, which allowed determining the energy added by the pump, and the second is the equation for the power supplied by the pump.

Finally, the daily cost was determined by the value of the power supplied by the pump, operating time and energy cost.

KEYWORDS:

Pipe, friction losses, pump, operating cost.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO ..... **I**

RESUMEN ..... **II**

ABSTRACT ..... **III**

LISTA DE TABLAS ..... **V**

LISTA DE FIGURAS ..... **V**

ÍNDICE DE ABREVIATURAS ..... **VI**

INTRODUCCIÓN **7**

1.1 Objetivos **8**
1.1.1 Objetivo general 8
1.1.2 Objetivo específico 8

2 DESARROLLO **9**

2.1 Marco teórico **9**
2.1.1 Mecánica de fluidos 9
2.1.2 Propiedades físicas de los fluidos 9
2.1.3 Caudal 10
2.1.4 Número de Reynolds 10
2.1.5 Ecuación de Bernoulli 11
2.1.6 Ecuación general de la energía 12
2.1.7 Pérdidas de carga por fricción (hf) 12
2.1.8 Pérdidas de carga por accesorios y tuberías 14
2.1.9 Potencia suministrada a la bomba (P) 15

2.2 Cálculo para determinar el costo diario de consumo de un sistema de bombeo **15**
2.2.1 Determinar la velocidad de fluido 18
2.2.2 Determinar el número de Reynolds 18
2.2.3 Determinar la rugosidad relativa de la tubería 18
2.2.4 Factor de fricción mediante el diagrama de Moody 18
2.2.5 Pérdida de carga por fricción 19
2.2.6 Energía añadida por la bomba 19
2.2.7 Determinar la potencia suministrada por la bomba 19
2.2.8 Determinar el costo diario 20

2.2.9 Cálculo por pérdida de fricción ocasionada por accesorios 20

2.3 RESULTADOS **22**

3 CONCLUSIÓN **24**

RECOMENDACIONES **24**

BIBLIOGRAFÍA **25**

ANEXOS **27**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Viscosidad del agua líquida de acuerdo a su temperatura. 10

Tabla 2: Rugosidad de la tubería - valores de diseño 14

Tabla 3: Relación de longitud equivalente en diámetros de tubería. 14

Tabla 4: Comparación de parámetros con y sin accesorios 22

Tabla 5: Pérdidas de carga por fricción total con y sin accesorios mediante la ecuación de Darcy 22

Tabla 6: Potencia suministrada por la bomba y costo diario con y sin accesorios 23

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: Diagrama de bloques para determinar el coste diario de consumo de un sistema de bombeo mediante parámetros. 16

Ilustración 2: Diagrama de flujo de una instalación de agua a la fábrica Azucarera. ... 17

Ilustración 3: Diagrama de flujo de una instalación de agua a la fábrica azucarera. 17

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Re; (adimensional)	Número de Reynolds
$\boldsymbol{f}$; (adimensional)	Factor de fricción
$\frac{\epsilon}{D}$; (adimensional)	Rugosidad relativa
ρ; $\frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{m^3}}$	Densidad
μ; $\mathbf{Pa.s}$	Viscosidad
D; m	Diámetro
v; $\frac{m}{s}$	Velocidad del fluido
Q; $\frac{m^3}{h}$	Caudal
BHP; kW	Potencia suministrada por la bomba
L; m	Longitud de la tubería
g; $\frac{m}{s^2}$	Gravedad
$\mathbf{h_{f;\ m}}$	Pérdida de carga por fricción
$\mathbf{h_{b;\ m}}$	Energía añadida por la bomba

INTRODUCCIÓN

En el sector industrial, el uso del agua se ve relacionado con el proceso productivo, identificación y evaluación de los diversos consumos del mismo. Las industrias consumen alrededor del 19% del agua dulce a nivel mundial[1], por ejemplo, la industria de energía termoeléctrica y la generación de energía hidráulica.

Para emplear el agua en diferentes procesos industriales, se deben considerar algunos aspectos, tales como: comportamiento de flujo, tipo de tubería, tipo de bomba, pérdidas por fricción ocasionadas por las tuberías y/o accesorios y la potencia necesaria de la bomba[2].

Al escoger el tipo de tubería, se toma en cuenta el material adecuado para transportar agua. Las mayoría de las industrias utilizan bombas centrífugas, ya que es adecuada para movilizar líquidos limpios a grandes cantidades y poco corrosivos[3].

Las pérdidas por fricción se dan de acuerdo al caudal, tipo de material, diámetro y accesorios y, dependiendo de estos factores se identifica si el flujo se comporta como laminar o turbulento.

El método de la longitud equivalente permite determinar las pérdidas de fricción causadas por accesorios. La longitud equivalente dependerá del diámetro de la tubería y los valores proporcionados para cada accesorio[4].

En la potencia suministrada por la bomba se consideran parámetros como; caudal, peso específico, ganancia de carga en la bomba. Para determinar la potencia real es necesario conocer el rendimiento de la bomba[5].

Con todo lo anterior mencionado, el objetivo de estudio del presente trabajo es determinar el costo diario de una bomba mediante parámetros de diseño para transportar agua desde un río hacia un tanque de almacenamiento de una fábrica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar el costo diario de una bomba mediante parámetros de diseño para transportar agua desde un río hacia una fábrica.

1.1.2 Objetivo específico

- Realizar un diagrama de flujo del proceso.
- Calcular las pérdidas por fricción total en un sistema de bombeo que incluye las pérdidas con y sin accesorios mediante la ecuación de Darcy.
- Calcular la potencia suministrada por la bomba y su costo diario.

2 DESARROLLO

2.1 Marco teórico

2.1.1 Mecánica de fluidos

La mecánica de fluidos es una rama de la física que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en movimiento, equilibrio, hidrostática e hidrodinámica[6].

2.1.2 Propiedades físicas de los fluidos

2.1.2.1 Fluido

Se denomina fluido aquella sustancia que debido a su fuerza cohesiva intermolecular débil y el recipiente que lo contiene adoptan su forma. El fluido se clasifica en líquido que no ofrece resistencia al cambio de forma, pero sí al de volumen, y en gas que tiene poca resistencia a la forma y al volumen[7].

2.1.2.2 Densidad

Es la cantidad de masa contenida en un volumen, donde su valor puede cambiar dependiendo del fluido. La densidad se la representa con la letra griega (ρ) y, su unidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico. Se representa con la ecuación (1)[8].

$$\boldsymbol{\rho} = \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{V}} \qquad \textit{(1)}$$

Donde:

m; masa del líquido. (kg)

V; volumen del líquido. (m^3)

Tabla 1: Densidad del agua

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m^3)
25	0.997

Fuente: [9]

2.1.2.3 Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica es una propiedad de los fluidos que se resisten a una fuerza cortante. Mientras un fluido tenga menor viscosidad, fácilmente fluirá. La viscosidad se

representa con la letra griega (μ). Y la unidad en el sistema internacional es $Pa.s$ Se representa con la ecuación (2)[10].

$$\boldsymbol{\mu = \rho v_{cinemática}} \qquad \textbf{\textit{(2)}}$$

Donde:

μ; viscosidad dinámica. ($Pa.s$)

ρ; densidad del líquido. ($\frac{kg}{m^3}$)

v; viscosidad cinemática. ($\frac{m^2}{s}$)

Tabla 2: Viscosidad del agua líquida de acuerdo a su temperatura.

Temperatura (°C)	Viscosidad dinámica (Pa.s)
25	0.000891

Fuente: [9]

2.1.3 Caudal

Es el volumen de un fluido que se desplaza por una línea de tubería, río, oleoducto, canal, en un tiempo determinado. El caudal se representa con la letra Q y la unidad en el sistema internacional es $m^3.h^{-1}$. Se representa con la ecuación (3)[11].

$$\boldsymbol{Q = \frac{V}{t}} \qquad \textbf{\textit{(3)}}$$

Donde:

Q; caudal de agua. ($\frac{m^3}{h}$)

V; volumen del líquido. (m^3)

t; tiempo que emplea en pasar el líquido. (h)

2.1.4 Número de Reynolds

Es la vinculación de la fuerza inercial a fuerza viscosa; mientras las fuerzas viscosas son mayores, el número de Reynolds es menor y el régimen de flujo sería laminar. El número de Reynolds es un valor adimensional. Se representa con la ecuación (4)[12].

$$\boldsymbol{N_R = \frac{vD\rho}{\mu}} \qquad \textbf{\textit{(4)}}$$

Donde:

N_R; número de Reynolds. $(adimensional)$

v; velocidad del fluido. $(\frac{m}{s})$

ρ; densidad del líquido (agua). $(\frac{kg}{m^3})$

D; diámetro de la tubería a utilizar. (m)

μ; viscosidad dinámica (agua). $(Pa.s)$

2.1.5 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli analiza el comportamiento de un fluido que se encuentra en movimiento a lo largo de un sistema de tuberías. Se representa en la ecuación (5)

$$\boldsymbol{\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2} \qquad \textbf{\textit{(5)}}$$

Donde:

P_1; presión en la sección 1 (Pa)

P_2; presión en la sección 2 (Pa)

$\boldsymbol{\gamma}$; peso específico del fluido $(\frac{N}{m^3})$

v_1; velocidad del fluido en la primera sección $(\frac{\boldsymbol{m}}{s})$

v_2; velocidad del fluido en la segunda sección. $(\frac{\boldsymbol{m}}{s})$

g; gravedad $(\frac{m}{s^2})$

Z_1; cabeza de elevación en sección 1 (m)

Z_2; cabeza de elevación en sección 2 (m)

2.1.6 Ecuación general de la energía

La ecuación general de la energía es una ampliación de la ecuación de Bernoulli, esta ecuación posibilita analizar el comportamiento de los fluidos, permite resolver problemas como pérdidas y ganancias de energía. Se representa en la ecuación (5)

$$\boldsymbol{\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + h_B - hf = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2} \qquad \textit{(6)}$$

Donde:

P_1; presión en la sección 1 (Pa)

P_2; presión en la sección 2 (Pa)

$\boldsymbol{\gamma}$; peso específico del fluido $(\frac{N}{m^3})$

$\boldsymbol{v_1}$; velocidad del fluido en la primera sección $(\frac{\boldsymbol{m}}{s})$

v_2 ; velocidad del fluido en la segunda sección. $(\frac{\boldsymbol{m}}{s})$

g; gravedad $(\frac{m}{s^2})$

Z_1; cabeza de elevación en sección 1 (m)

Z_2; cabeza de elevación en sección 2 (m)

h_B; energía añadida por la bomba (m)

hf; pérdidas carga por fricción (m)

2.1.7 Pérdidas de carga por fricción (hf)

Las pérdidas de carga resultan de las fuerzas de fricción que actúan en el fluido que está en movimiento. La fricción es proporcional a las propiedades de flujo, diámetro de la tubería, velocidad, la pared de la tubería, este tipo de pérdida es energía que no se puede recuperar. Mientras el número de Reynolds sea elevado, significa que habrá menos pérdida de carga[13]. Para calcular (hf) se aplica la Ecuación de Darcy.

2.1.7.1 Ecuación de Darcy

Esta ecuación se utiliza para determinar las pérdidas de energía por fricción que se da en una línea de tubería, ya sea un flujo laminar o turbulento[12]. Se representa en la ecuación (7)

$$\boldsymbol{h_f = f\ x\ \frac{L}{D}\ x\ \frac{v^2}{2g}} \qquad \textit{(7)}$$

Donde:

h_f; pérdida de carga por fricción (m)

f ; factor de fricción $(adimensional)$

L; longitud total de la tubería (m)

D ; diámetro de la tubería (m)

v; velocidad del fluido ($\frac{m}{s}$)

g ; gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

2.1.7.2 Factor de fricción

El factor de fricción depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa, se lo puede identificar mediante el diagrama de Moody (anexo 1)[14]. Se representa con la letra (f).

2.1.7.3 Diagrama de Moody

El diagrama de Moody se utiliza para encontrar el factor de fricción mediante el valor del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. Este diagrama también permite identificar si el flujo es de régimen laminar o turbulento[15].

2.1.7.4 Rugosidad relativa de la tubería

Permite identificar los defectos del material de la tubería, es un parámetro que se define como el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro interno de la tubería. La rugosidad relativa es un valor adimensional. Se representa en la ecuación (6)[16].

$$\boldsymbol{\frac{\epsilon}{D}} \qquad \textit{(8)}$$

Donde:

ϵ; rugosidad absoluta (m)

D; diámetro interno de la tubería (m)

En la tabla 3 se observa la rugosidad relativa de diferentes tipos de tuberías.

Tabla 3: Rugosidad de tuberías - valores de diseño

Material	Rugosidad ϵ (m)
Vidrio	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}
Hierro dúctil - revestido	1.2×10^{-4}
Hierro dúctil - sin revestir	2.4×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}

Fuente: [9]**.**

2.1.8 Pérdidas de carga por accesorios y tuberías

Las pérdidas de carga por fricción dependen de la geometría de los accesorios. Las pérdidas son ocasionadas por válvulas, codos y otros tipos de accesorios de tubería[17]. Al igual que las pérdidas de carga por fricción, este parámetro se determina empleando la ecuación de Darcy con una cierta modificación la cual está en función el método de la longitud equivalente[18].

2.1.8.1 Método de longitud equivalente

Este método registra las pérdidas de carga por accesorios, la longitud equivalente (Le) es la longitud en metros de un accesorio, pero con el mismo diámetro. Se representa (Le/D). En la tabla 4 se observan los valores del método de longitud equivalente para diferentes accesorios[13].

Tabla 4: Relación de longitud equivalente en diámetros de tubería.

Accesorio	(Le/D)
Codo estándar de 90°	30
Codo estándar de 45°	16
Te estándar – con flujo directo	20

Te estándar – con flujo en el ramal	60
Unión o universal	6
Válvula angular abierta	150
Válvula de bola	150
Válvula de compuerta – Abierta por completo	8
Válvula de compuerta $\frac{3}{4}$ abierta	35
Válvula de compuerta $\frac{1}{2}$ abierta	160
Válvula de compuerta $\frac{1}{4}$ abierta	900
Válvula de globo	340
Válvula de retención (check) - Convencional	50
Válvula de retención – En Y	100

Fuente: [9]

2.1.9 Potencia suministrada a la bomba (P)

La potencia que es suministrada a la bomba se determina mediante parámetros que permiten el movimiento del fluido. Cantidad de energía que se suministra para poner en acción a una bomba. Se representa en la ecuación (8)[13].

$$\boldsymbol{P = \frac{hb * \rho * g * Q}{n}} \qquad \textit{(9)}$$

Donde:

h_b; energía añadida por la bomba (m)

ρ ; densidad del agua $(\frac{Kg}{m^3})$

Q ; caudal $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

g ; gravedad $(\frac{m}{s^2})$

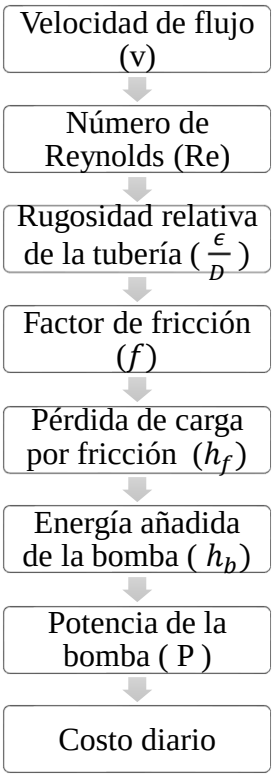
n ; rendimiento de la bomba (adimensional)

2.2 Cálculo para determinar el costo diario de consumo de un sistema de bombeo

Se desea transportar agua desde un medio acuífero (río) a una fábrica azucarera por medio de un sistema de bombeo, donde el caudal es de 40 m^3/h, el flujo va ser almacenado en un tanque que se encuentra a 15 m por debajo del nivel de referencia. Se sabe que la línea de tubería es de acero inoxidable cuya longitud es de 240 m y un diámetro interno de 3 pulgadas. Con todo lo anterior mencionado, se desea determinar el costo diario de operación de la bomba si el kilovatio-hora cuesta $0,1047 y el rendimiento de la bomba es del 80%.

Para resolver este caso se toma en cuenta los parámetros descritos en la ilustración 1.

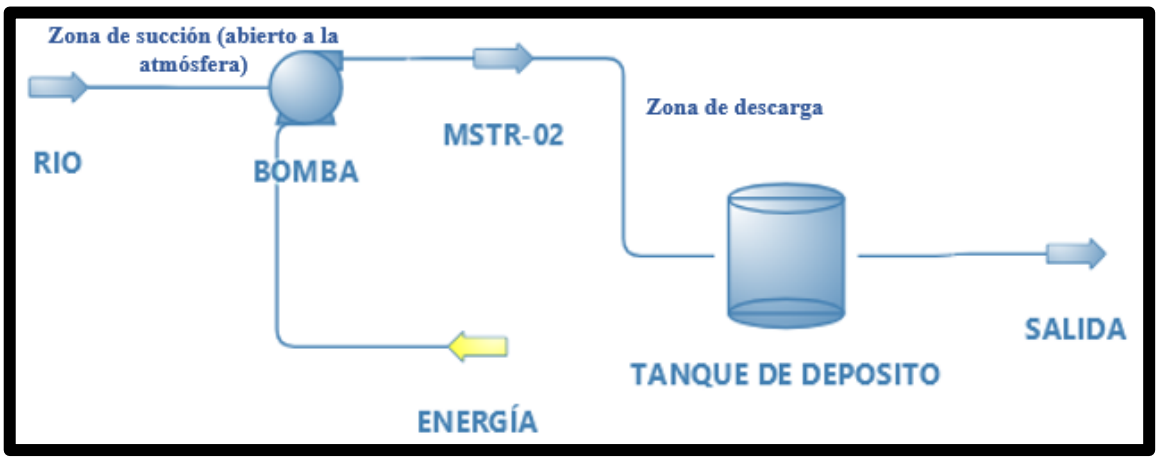
Ilustración 1: Diagrama de bloques para determinar el coste diario de consumo de un sistema de bombeo.



Fuente: Elaboración propia.

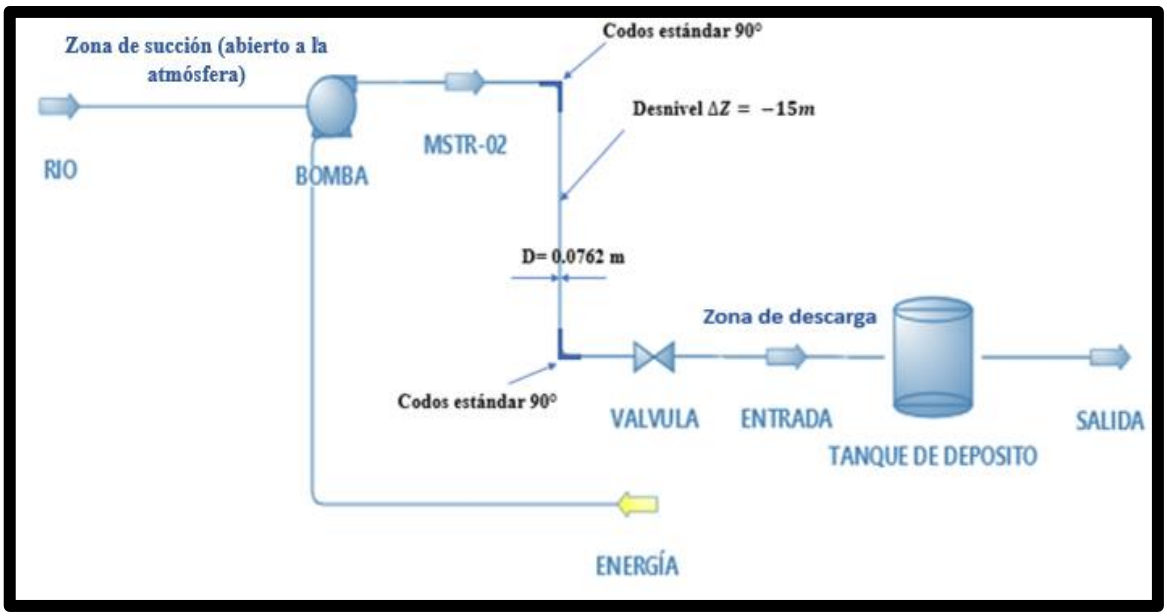
En las ilustraciones 2 y 3 se observan los diagramas de flujo del proceso para el transporte del agua hacia un tanque de almacenamiento dispuesto en una fábrica. La ilustración 2 no cuenta con accesorios, mientras que en la ilustración 3 se han añadido accesorios que permiten una realidad más cercana a un proceso industrial.

Ilustración 2: Diagrama de flujo de una instalación de agua a la fábrica Azucarera.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 3: Diagrama de flujo de una instalación de agua a la fábrica azucarera.



Fuente: Elaboración propia.

- Caudal

$$Q = 40\ \frac{m^3}{h} = \frac{1\ h}{3600\ s} = \ 0.0111\ \frac{m^3}{s}$$

- Diámetro de la tubería

$$D = 3\ pulg\ x\ \frac{2.54\ cm}{1\ pulg}\ x\ \frac{1\ m}{100\ cm} = 0.0762\ m$$

- Área obtenida mediante el diámetro tubería

$$A = \pi . \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi . \frac{(0.0762\ m)^2}{4} = \frac{0.00580}{12.566} = 0.00455\ m^2$$

- Viscosidad dinámica del agua con temperatura a 25°C

$$\mu = 0.00089\ \frac{kg}{m.s}$$

2.2.1 Determinar la velocidad de fluido

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$\boldsymbol{v} = \frac{0.0111\ \frac{m^3}{s}}{0.00455\ m^2} = 2.439\ \frac{m}{s}$$

2.2.2 Determinar el número de Reynolds

$$R_e = \frac{vD\rho}{\mu}$$

$$R_e = \frac{(2.439\ \frac{m}{s}) x (0.0762\ m\ )\ x\ (998\ \frac{kg}{m^3})}{(0.00089\ \frac{kg}{m.s})}$$

$R_e = 2.08x10^5$ régimen turbulento

2.2.3 Determinar la rugosidad relativa de la tubería

$$\frac{\epsilon}{D}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{4.6\ x\ 10^{-5}\ m}{0.0762\ m}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0006$$

2.2.4 Factor de fricción mediante el diagrama de Moody

$$f = 0.019$$

2.2.5 Pérdida de carga por fricción

$$h_f = f\,\frac{v^2}{2g}\;x\;\frac{L}{D}$$

$$h_f = 0.019\,\frac{(240\,m)(2.439\,\frac{m}{s})^2}{(0.0762\,m)(2)(9.81\,\frac{m}{s^2})}$$

$$h_f = 18.14\,m$$

2.2.6 Energía añadida por la bomba

Ecuación de mecánica de fluidos

$$\frac{P_1}{\rho.g} + \frac{v^2}{2g} + Z_1 + hb - hf = \frac{P_2}{\rho.g} + \frac{v^2}{2g} + Z_2$$

Como el medio acuífero (río) y el tanque de almacenamiento están abiertos a la atmósfera su presión y velocidad valen cero.

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho.g}} + \cancel{\frac{v^2}{2g}} + \cancel{Z_1} + hb - hf = \cancel{\frac{P_2}{\rho.g}} + \cancel{\frac{v^2}{2g}} + Z_2$$

$$\Delta Z - hf = -\,hb$$

$$hb = hf - \Delta Z$$

$$hb = 18.14\,m - (-15\,m)$$

$$hb = 33.14\,m$$

2.2.7 Determinar la potencia suministrada por la bomba

$$P = \frac{hb * \rho * g * Q}{n}$$

$$P = \frac{(33.14\,m) * \left(997\,\frac{kg}{m^3}\right)(9.81\,\frac{m}{s^2}) * (0.0111\,\frac{m^3}{s})}{0.8}$$

$$P = 4497.27\,\frac{kg\,.m^2}{s^3}$$

$$P = 4.497\,kW$$

2.2.8 Determinar el costo diario

P = 4.497 kW

Tiempo de operación de la bomba: t = 8h/día

Costo de energía= $\$0.1047/kWh$

P*t

$$4.497kW\ x\ \frac{8\ h}{1\ día} = 35.980\ kWh/día$$

$$35.980\ \frac{kWh}{día}\ x\ \frac{\$0.1047}{kWh} = \frac{\$3.77}{día}$$

2.2.9 Cálculo por pérdida de fricción ocasionada por accesorios

Método longitudinal equivalente

$$\frac{L_e}{D}$$

2.2.9.1 Factor de fricción

$$f = 0.019$$

2.2.9.2 Pérdida de carga por fricción

$$h_f = f\frac{v^2}{2g}\ x\ \left(\frac{L}{D} + \frac{L_e}{D}\right)$$

Cálculo ocasionado por los accesorios:

Codos estándar 90°= 30 x 2 = 60 m

Válvula de globo abierta= 340 x 1 = 340 m

Suma total de accesorios= 340 + 60 = 400 m = $\frac{L_e}{D}$

La ecuación de Darcy surge una modificación

$$h_f = f\frac{v^2}{2g}\ x\ \left(\frac{L}{D} + \frac{L_e}{D}\right)$$

$$h_f = 0.019\ \frac{\left(2.439\ \frac{m}{s}\right)^2}{(2)\left(9.81\ \frac{m}{s^2}\right)}\ x\ \left(\frac{240\ m}{0.0762\ m} + 400\ m\right)$$

$$h_f = 20.45\ m$$

2.2.9.3 Ecuación de mecánica de fluidos

$$\frac{\boldsymbol{P_1}}{\boldsymbol{\rho . g}} + \frac{\boldsymbol{v^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_1} + \boldsymbol{hb} - \boldsymbol{hf} = \frac{\boldsymbol{P_2}}{\boldsymbol{\rho . g}} + \frac{\boldsymbol{v^2}}{\boldsymbol{2g}} + \boldsymbol{Z_2}$$

$$\cancel{\frac{\boldsymbol{P_1}}{\boldsymbol{\rho . g}}} + \cancel{\frac{\boldsymbol{v^2}}{\boldsymbol{2g}}} + \cancel{\boldsymbol{Z_1}} + \boldsymbol{hb} - \boldsymbol{hf} = \cancel{\frac{\boldsymbol{P_2}}{\boldsymbol{\rho . g}}} + \cancel{\frac{\boldsymbol{v^2}}{\boldsymbol{2g}}} + \boldsymbol{Z_2}$$

2.2.9.4 Energía añadida por la bomba

$$\Delta Z - hf = -\ hb$$

$$hb = \ hf - \ \Delta Z$$

$$hb = \ 20.45 - (-15\ m)$$

$$hb = \ 35.45\ m$$

2.2.9.5 Determinar la potencia de la bomba

$$P = \frac{hb * \rho * g * Q}{n}$$

$$P = \frac{(35.45\ m) * \left(997\ \frac{kg}{m^3}\right)(9.81\ \frac{m}{s^2}) * (0.0111\ \frac{m^3}{s})}{0.8}$$

$$P = 4810.75\ W\ x\ \frac{kW}{1000\ W} = 4.810\ kW$$

$$P = 4.810\ kW$$

2.2.9.6 Determinar el costo diario

P = 4.810 kW

Tiempo de operación de la bomba: t = 8h/día

Costo de energía= $\$0.1047/kWh$

P*t

$$4.810\ kW\ x\ \frac{8\ h}{1\ día} = 38.480\ kWh/día$$

$$38.480\frac{kWh}{día}\ x\ \frac{\$0.1047}{kWh}=\frac{\$4.03}{día}$$

En la tabla 5 se representa la comparación de parámetros con y sin accesorios.

Tabla 5: Comparación de parámetros con y sin accesorios.

	Pérdida por fricción total	**Pérdida por fricción con accesorios**
Factor de fricción	0.019	0.019
Pérdida de carga por fricción	18.14 m	20.45 m
Ganancia de carga en la bomba	33.14 m	35.45 m
La potencia de la bomba	4.497kW	4.810 kW
Costo	$\$3.77/día$	$\$4.03/día$

Fuente: Elaboración propia.

2.3 RESULTADOS

Se elaboraron dos diagramas de flujo de una instalación de agua a la fábrica azucarera. El primer diagrama no se consideraron accesorios en específico. Por otro lado, en el segundo diagrama se menciona la presencia de dos codos estándar de 90° y una válvula de globo.

Al calcular las pérdidas de carga por fricción, se escogió la rugosidad relativa de acuerdo al tipo de tubería (acero inoxidable): se utilizó el diagrama de Moody para determinar el factor de fricción, con estos datos se pudo determinar los parámetros presentes en la tabla 6; y así aplicarlos en la ecuación de Darcy.

Tabla 6: Pérdidas de carga por fricción total con y sin accesorios mediante la ecuación de Darcy.

Pérdida de fricción total			
Parámetros	**símbolo**	**unidad**	**Valor**
Velocidad del fluido	v	$\frac{m}{s}$	2.439
Numero de Reynolds	R_e	-	$2.08x10^5$

Rugosidad relativa de la tubería	$\frac{\epsilon}{D}$	-	0.0006
Factor de fricción	f	-	0.019
Pérdida de carga por fricción	h_f	m	18.14
Pérdida de fricción total incluyendo accesorios			
Método longitudinal equivalente para los accesorios	$\frac{L_e}{D}$		400
Pérdida de carga por fricción	h_f	m	20.45

Fuente: Elaboración propia.

Se resolvió los parámetros presentes en la tabla 6, para determinar las pérdidas por fricción total con y sin accesorios aplicando la ecuación de Darcy. En las pérdidas por fricción total sin accesorios se obtuvo un valor de 18.14 m. Mientras que las pérdidas por fricción total con accesorios dieron un valor de 20.45 m. Comparando estos resultados existe una variación de 2.31 m.

Tabla 7: Potencia suministrada por la bomba y costo diario con y sin accesorios.

Potencia suministrada por la bomba			
Parámetros	**Símbolo**	**Unidad**	**Valor**
Energía añadida por la bomba	h_b	m	33.14
Potencia de la bomba	P	kW	4.497
Costo de operación			
Tiempo de operación de la bomba	t	h	8
Costo de energía	$	kW-h	0.1047
Costo operación	$	h	3.77
Potencia suministrada por la bomba con accesorios			
Ganancia de carga en la bomba	h_b	m	35.45
Potencia de la bomba	P	kW	4.810
Costo de operación			
Tiempo de operación de la bomba	t	m	8
Costo de energía	$	kW-h	0.1047
Costo de operación	$	Día	4.03

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, se muestran los parámetros para determinar la potencia suministrada por la bomba y el costo de operación con y sin accesorios. En la potencia suministrada por la bomba sin accesorios dio un valor de 4.497 kW y el costo de operación es de $3.77/día. Mientras que con accesorios el valor varía, la potencia es de 4.810 kW y el costo de operación de $4.03 en una jornada laboral. Comparando el resultado de ambos procesos se puede observar poca diferencia en su costo operación.

3 CONCLUSIÓN

Se elaboraron dos diagramas de flujo, el primero sin accesorios y el segundo con accesorios donde el primer diagrama al iniciar la zona de succión se encuentra abierto a la atmósfera; por lo tanto, la presión y velocidad es cero. El segundo diagrama especifica los accesorios utilizados, que son: 2 codos estándar de 90° y una válvula de globo.

Las pérdidas de carga por fricción dependen del material que está hecha la tubería; en este caso se utilizó el acero inoxidable, si la tubería es lisa tiene pérdidas de carga por fricción menores y si es rugosa son mayores. Las pérdidas por fricción también se deben a los accesorios y a la viscosidad del fluido.

El número Reynolds dio como resultado $2.09x10^5$ donde indica que es un régimen turbulento y que junto con el resultado de rugosidad relativa se pudo identificar el factor de fricción, con estos datos obtenidos se aplicó la ecuación de Darcy; y así, determinar la pérdida de carga por fricción total con y sin accesorios. Se obtuvieron dos valores de pérdidas de carga 18.14 m sin accesorios y 20.45 m con accesorios con una diferencia de 2.31 m.

De acuerdo con los resultados obtenidos se calculó la potencia suministrada por la bomba y se obtuvieron valores de 4.497 kW sin accesorios y 4.810 kW con accesorios.

Finalmente, se logró comprender que, si el diámetro de la tubería es de gran tamaño, la rugosidad de la tubería es lisa y la viscosidad del fluido es menor, su pérdida de carga sería menor y consecuentemente la potencia de la bomba será reducida al igual que su costo. Al incluir los accesorios el costo no varía mucho.

RECOMENDACIONES

Para transportar agua de un medio acuífero hacia una fábrica es factible seleccionar una tubería plástica (PVC); ya que, con este tipo de conducción tiene menor pérdida de carga debido a su baja rugosidad.

BIBLIOGRAFÍA

(1) UNESCO; WWAP. Informe Mundial de Las Naciones Unidas Sobre El Desarrollo de Los Recursos Hídricos 2019. No Dejar a Nadie Atrás; 2019.

(2) Meléndez, J. Diseño de un sistema de recaudación de agua pluvial con apertura y bloqueo mecánico de caudal para servicios generales en el centro educativo solalto ubicado en el municipio de Fraijanes, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

(3) VAM INDUSTRY. Tuberías, Válvulas y Accesorios; Barcelona, 2016.

(4) Arregui, F.; Cabrera, E.; Cobacho, R.; Gómez, E.; Soriano, J. Apuntes de Mecánica de Fluidos; 2017; Vol. 53.

(5) Chero Lizana, A. Diseño de Un Sistema de Bombeo Mediante Ariete Hidráulico, 2018.

(6) Rendon, C. C.; Hernandez, J. L.; Ruiz-Salguero, O. Wing Profile Evolution Driven by Computational Fluid Dynamics. Rev. UIS Ing. **2019**, 18 (2), 139–146. https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019013.

(7) Terán, H.; Torres, G.; Arteaga, O.; Sánchez, W. Mecánica de Fluidos, Primera ed.; Andrade, D., Ed.; Sangolquí, 2018.

(8) Jiménez, J. M.; García, V. H.; Lozano, D.; Zavala, O.; Ortiz, A.; Castillo, E.; Romero, R. Manual de Apuntes de La Experiencia Educativa de Tuberías y Canales; 2017.

(9) Mott, R.; Untener, J. Mecánica de Fluidos Séptima Edición; 2019.

(10) Valiente, A. La Viscosidad; 2020.

(11) Alvarez, L.; Briceño, R. Diseño y elaboración de un sistema de tuberías para el análisis de la ecuación general de la energía, Universidad de La Costa, 2021.

(12) Medina, E. Facultad de Ingeniería, Universidad César Vallejo, 2017.

(13) Diaz-Castañeda, J. L.; Álvarez-Zapata, H. D. Una Plataforma En EMSO® Para Modelar Pérdidas Por Fricción En Plantas de Procesos. Lámpsakos **2014**, No. 12, 79. https://doi.org/10.21501/21454086.1348.

(14) Sánchez-Medrano, M. T.; Izquierdo-Kulich, E.; Aranda-Jiménez, Y. G.; Suárez-Domínguez, E. J. Estudio Mecánico Del Desplazamiento de Fluidos En Bambú Para Su Preservación. Ing. Investig. y Tecnol. **2018**, 19 (3), 323–329. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n3.027.

(15) Madeira, A. A. Major and Minor Head Losses in a Hydraulic Flow Circuit:

Experimental Measurements and a Moody's Diagram Application. Eclet. Quim. **2020**, 45 (3), 47–56. https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v45.3.2020.p47-56.

(16) Laffita-Leyva, Alexander Martínez, Arturo Ávila, Enmanuel Rangel, L. Validation of an Experimental Simulation Model Based on Computational Fluid Dynamics. Rev. ciencias Agropecu. **2020**, 29 (4).

(17) Díaz, N. Diseño de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios, Universidad Austral de Chile, 2018.

(18) Castillo, J.; Solorzano, B.; Moreno, J. Diseño de Una Red Neuronal Para La Predicción Del Coeficiente de Pérdidas Primarias En Régimen de Flujo Turbulento. Ingenius **2018**, No. 20, 21–27. https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.02.

ANEXOS

Anexo 1

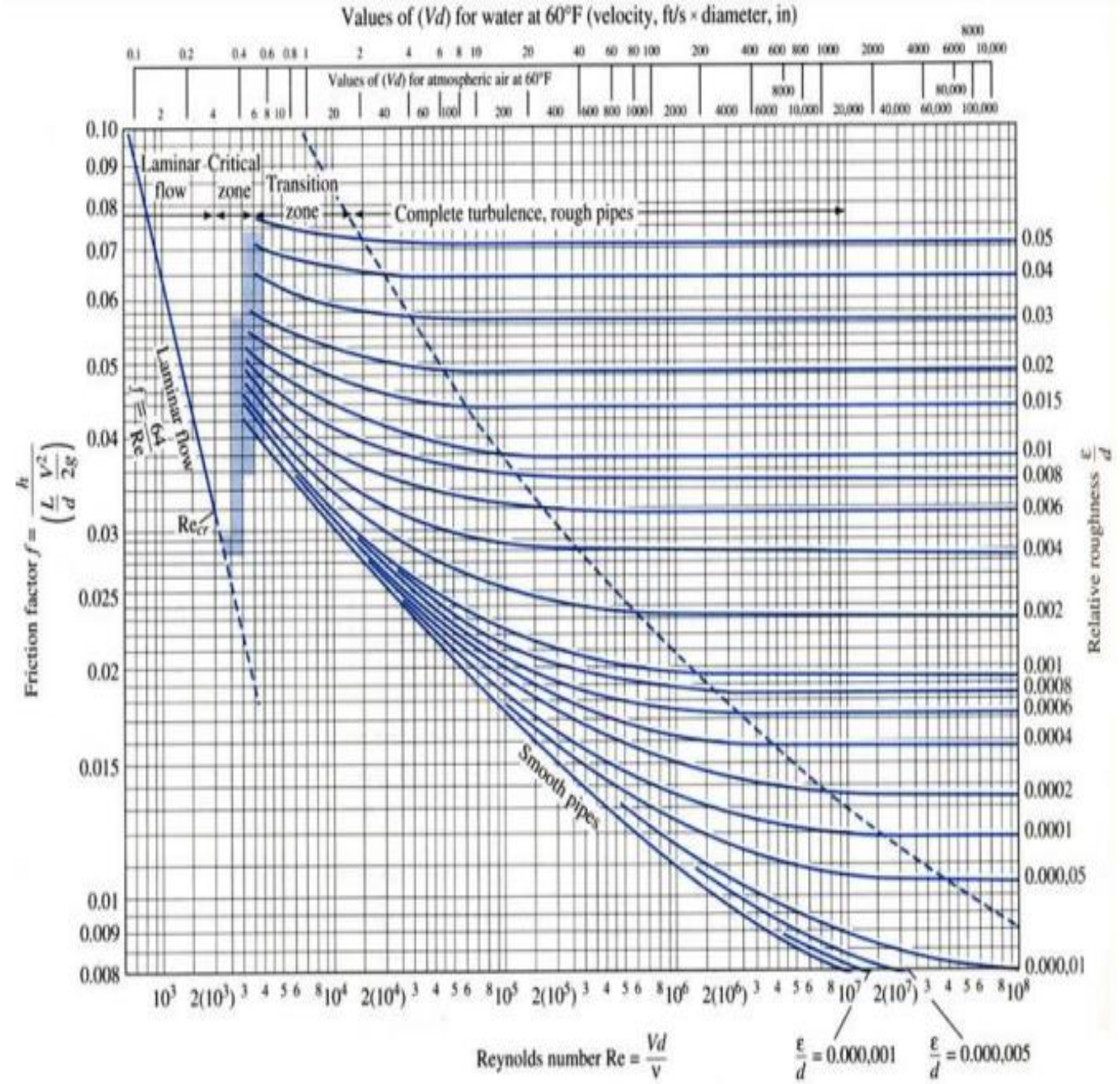



Diagrama de Moody