

Asistente FTR enfocado a la enseñanza-aprendizaje en mecánica de fluidos.

Juan Bernaldino Martínez Isabeles¹, Luis Gabriel González Vázquez¹, Hugo Alberto Anguiano Salcedo¹, Josué Daniel Torres Santos⁴. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán Departamentos de Sistemas Computacionales¹, Industrial², Mecánica³, Estudiante de Sistemas Computacionales⁴.

Resumen - Esta investigación muestra la metodología empleada para desarrollar un asistente para determinar la caída de presión, la pérdida de carga y la potencia de bombeo al trasladar un fluido en una tubería recta de un punto A, a un punto B, así como especificar que tipo de flujo se está dando, el cual fue desarrollado en Visual Studio 2022 con la intención de emplearlo en el proceso de enseñanza aprendizaje de los jóvenes, en el tema de flujos de tuberías, en el primer semestre del siguiente año. La programación se basó en un algoritmo que muestra de forma progresiva e intuitiva la solución de ejercicios con flujo laminar, en transición y turbulento.

Índice de Términos – Asistente informático, mecánica de fluidos, flujo en tuberías.

I. INTRODUCCIÓN

La interacción de la informática en la mecánica de fluidos ha dado origen a la dinámica de fluidos computacional o CFD por sus siglas en inglés Computational Fluid Dynamics, por esta razón cada día se utilizan más en la educación como recurso didáctico que favorece el proceso de enseñanza aprendizaje [1], [2]. La CFD se utiliza en la industria química, aeroespacial, metalúrgica, eléctrica, para realizar análisis de termofluidos en el ambiente y dispersión de contaminantes a la atmosfera o vertidos en afluentes y ríos, también en la educación como complemento en la enseñanza [3], [4]. Además se aplicó una estrategia didáctica basada en simuladores para abordar conceptos de las ramas de la física clásica: mecánica, termodinámica, eléctrica, óptica y acústica, a un grupo de 23 estudiantes de los ciclos V y VI de una institución Colombiana obteniéndose una disminución del índice de reprobación del 73% al 4% [5].

En el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán en los cursos de mecánica de fluido se ha encontrado un índice de reprobación en las evaluaciones de primera oportunidad en los últimos cuatro años, un promedio del 9% y los estudiantes han tenido una motivación del 70%. Utilizar algún programa de cómputo CFD requiere se adquieran licencias, estaciones de trabajo “Workstation” [6] y capacitación para el personal docente.

Se integró un equipo multidisciplinario conformado por ingenieros en sistemas computacionales, ingenieros mecánicos e ingenieros industriales para la programación del Asistente para determinar la variable de flujo en tuberías rectas, con el objetivo de facilitar en los estudiantes de educación superior el cálculo en la caída de presión, pérdida de carga y potencia de bombeo en tuberías rectas cuando el flujo es laminar, en transición o turbulento.

Se integro un equipo multidisciplinario para realizar la programación de un asistente que facilite a los estudiantes el poder determinar la caída de presión, pérdida de carga y potencia de bombeo en tuberías rectas cuando el flujo sea laminar, en transición o turbulento.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó en dos etapas, como se muestra en la Figura 1.



Fig. 1. Diagrama de flujo de la metodología empleada

1. Estado del arte

Se realizó una búsqueda exhaustiva en libros y Google Académico

A) Mecánica de fluidos

La mecánica se define como la ciencia que describe y predice las condiciones de reposo o movimiento de los cuerpos que están sometidos a fuerzas y se divide en: a) Mecánica de los cuerpos rígidos, b) Mecánica de cuerpos deformables y c) Mecánica de fluidos [7], esta se divide y se encarga de estudiar los fluidos en equilibrio, conocida como hidrostática y en movimiento denominada hidrodinámica [8]. Los fluidos son sustancias capaces de fluir y la característica de adaptarse a la forma del recipiente que los contiene [9], además se clasifican como externos e internos, dependiendo si el fluido se fuerza a fluir sobre una superficie o dentro de un conducto [10] y se pueden encontrar en forma de gases “comprensibles” o líquidos “incomprensibles” [11].

El comportamiento del flujo de un líquido, en el interior de tuberías o ductos, es muy importante por la fricción que se genera entre los fluidos y las paredes del conducto, esta variable se relaciona directamente con la caída de presión, las pérdidas de carga y la potencia de bombeo que se requiere para transportar el fluido de un punto A a un punto B. Las ecuaciones que se emplean, se muestran en la Figura (2) [12]:

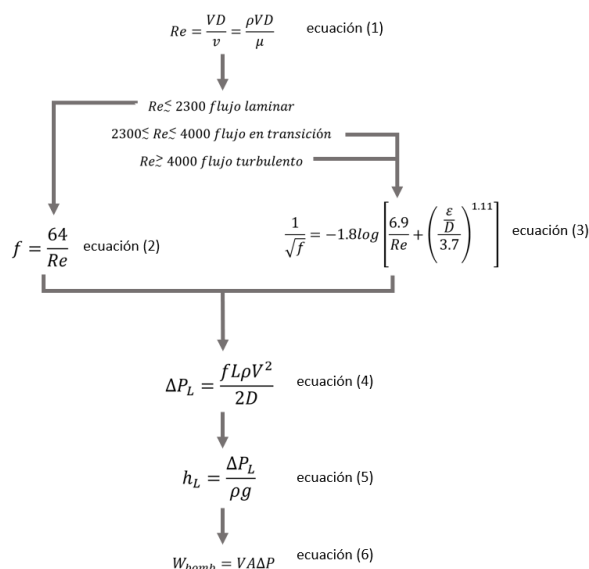


Fig. 2 Ecuaciones para flujo en tuberías

La ecuación 1 permite determinar el número de Reynolds, el cual dependiendo de su magnitud puede ser identificado como laminar, flujo en transición o turbulento. En tanto que las ecuaciones 2 y 3 permiten determinar los coeficientes de fricción para el flujo

laminar y turbulento respetivamente. La caída de presión se obtiene mediante la ecuación 4, con la ecuación 5 se determina la pérdida de carga y con la 6 se obtiene la potencia de bombeo para transportar un fluido de un punto A a B.

Donde:

V_{prom} = Velocidad promedio del $\left(\frac{m}{s}\right)$

D = Diámetro del conducto con m

ν = Viscosidad cinemática $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

μ = Viscosidad dinámica $\left(\frac{kg}{s}\right)$

ρ = Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Re = Número de Reynolds es adimensional

f = Coeficiente de fricción es adimensional

ϵ = Coeficiente de rugosidad (mm)

ΔP_L = Caída de presión (Pa)

L = Longitud del conducto

g = Aceleración gravitacional $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h_L = Pérdida de carga (m)

W_{bomba} = Potencia de bomba $Watts$

A = Área (m^2)

B) Programación

La primera versión del sistema operativo Windows, surgió a mediados de la década de los 80's y actualmente es uno de los más utilizados para equipos de cómputo de escritorio. Según datos de Statcounter GlobalStats [13] los sistemas operativos para equipos de escritorio más utilizados en el 2021 se muestran en la Tabla 1

Tabla 1. Resultados de Sistemas operativos, septiembre del 2022

| Sistema Operativo | Porcentaje |
|-------------------|------------|
| Windows | 74.99% |
| OSX | 14.84% |
| Desconocido | 4.94% |
| Linux | 2.81% |
| Chrome OS | 2.41% |

En el Tecnológico Nacional de México en su campus de Ciudad Guzmán, los laboratorios de cómputo para uso de los estudiantes están equipados con computadoras de escritorio con sistema operativo Windows. Por esta razón, la aplicación para el cálculo de caída de presión fue desarrollado con el lenguaje de programación Visual Basic 2022. Basado en un algoritmo que muestra la manera de determinar cada una de las variables de forma lógica y ordenada [14].

2. Programación

A) Algoritmo

Se muestra el algoritmo en forma de instrucciones verbales

1. Iniciar.
2. Seleccionar el tipo de sección transversal.
 - 2.1. Si se seleccionó círculo, proporcionar diámetro en centímetros y guardar en la variable D.
 - 2.2. Si se seleccionó cuadrado, proporcionar el valor de un lado en centímetros.
 - 2.3. Si se seleccionó rectángulo, proporcionar el valor de un lado en centímetros.
3. Seleccionar la fórmula a utilizar para el cálculo del número de Reynolds.
 - 3.1. Si se selecciona la primera fórmula ($Re = (V * (D / 100)) / \nu$), proporcionar la velocidad y viscosidad cinemática.
 - 3.2. Si se selecciona la segunda fórmula ($Re = (\rho * V * (D / 100)) / \mu$), proporcionar la velocidad, densidad y viscosidad dinámica.
4. Con el resultado (Re) del paso 3, se determina el tipo de flujo como se indica a continuación.
 $Re \leq 2300$ Flujo laminar.
 $2300 < Re \leq 4000$ Flujo transicional.
 $Re > 4000$ Flujo turbulento.
 - 4.1. Si el resultado fue Flujo Laminar, se utiliza la ecuación $f = 64 / Re$ para obtener el coeficiente de fricción.
 - 4.2. En caso contrario si el flujo es transicional o turbulento aplicar la siguiente fórmula.

$$ex = \text{leer la magnitud de } ex$$

$$x = ex / ((D / 100.0) / 3.7)$$

$$y = \text{elevar a la potencia uno punto once. } ((6.9 / Re) + x)^{1.11}$$

$$f = 1 / (-1.8 * \text{Math.Log}(y))$$
 f guarda el coeficiente de fricción.
5. Se determina la caída de presión con la fórmula siguiente.

L = Leer la magnitud de la variable L

$$PL = (f * L * \rho * (V * V)) / (2 * (D / 100))$$

PL guarda la caída de presión en pascales.

6. Determinar la pérdida de carga.

g = Leer la magnitud de la variable g.

$$hL = PL / (\rho * g)$$

hL guarda la magnitud de pérdida de carga.

7. Se determina la potencia de bombeo.

vL = Leer la magnitud de vL

$$wL = vL * PL * ((3.1416 * (D / 100) * (D / 100)) / 4)$$

wL guarda la magnitud de la potencia de bombeo.

8. Mostrar los resultados obtenidos.

- Número de Reynolds.
- Tipo de flujo.
- Coeficiente de fricción.
- Caída de presión.
- Pérdida de carga.
- Potencia de bombeo.

9. Finalizar el proceso.

De forma gráfica se muestra el algoritmo a través de un diagrama de flujo en la Figura 3

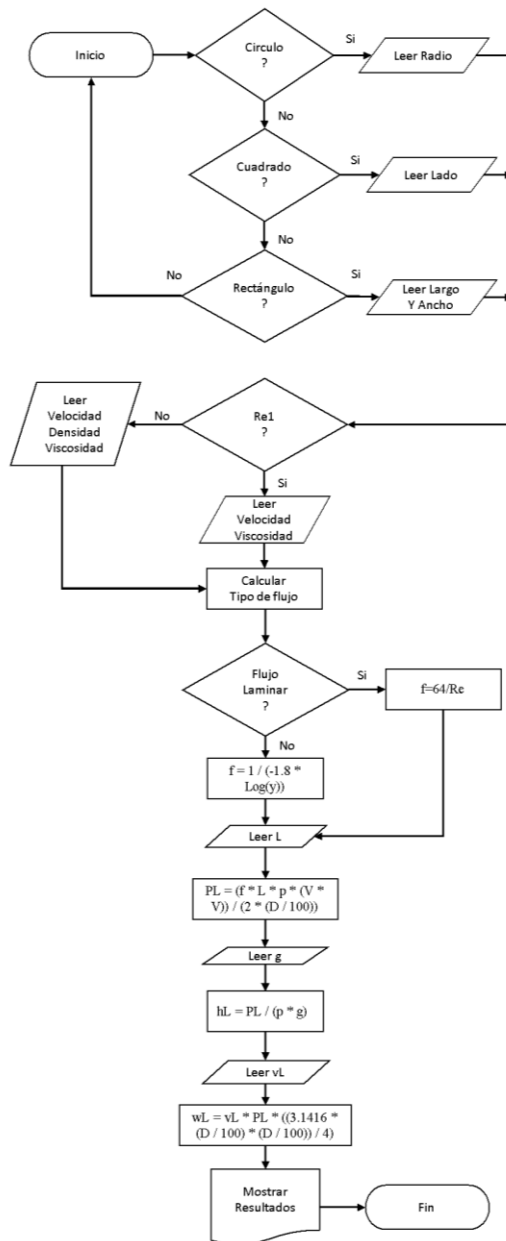


Fig. 3 Diagrama de flujo

B) Interfaz e IDE

Microsoft es la compañía que desarrollo el sistema operativo Windows y también creó un lenguaje de programación llamado Visual Basic que permite el desarrollo de aplicaciones para plataformas bajo ambiente Windows. El lenguaje de programación de Visual Basic fue liberado en 1991 en su primera versión y se considera un dialecto de BASICA. Visual Basic es un lenguaje de programación orientado a objetos dirigido por eventos y

forma parte del paquete de herramientas de Visual Studio [15], las Figuras 4 y 5 muestran la interfaz y el IDE de la programación

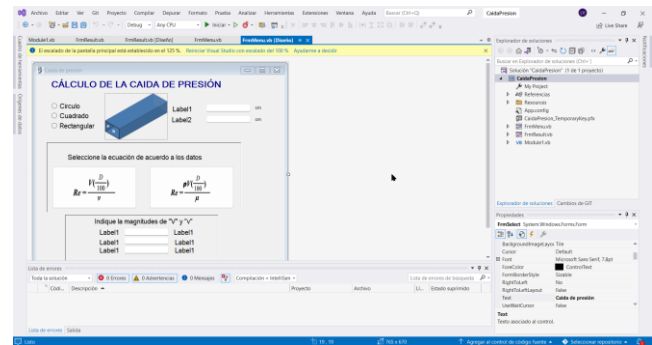


Fig. 4 Interfaz de la aplicación

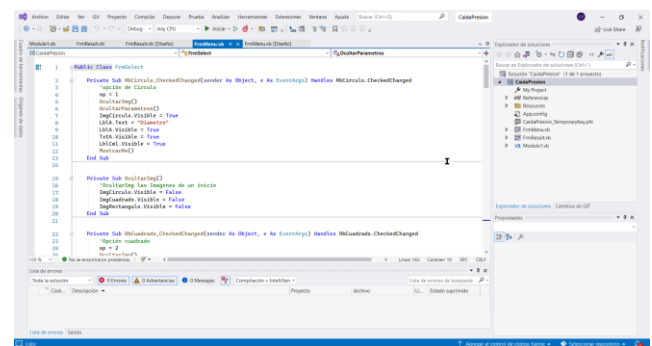


Fig. 5 IDE de la programación

III. RESULTADOS

Se muestra la solución de un ejercicio 8-31, tomado del libro de Fundamentos de Mecánica de Fluidos del Autor Yunus A. Cengel [11], de forma tradicional y utilizando el asistente FTR (flujo en tuberías rectas) que se programó:

Ejercicio 8-31.

Se tiene agua a 10°C

$\left(\rho = 999.7 \frac{kg}{m^3} \text{ y } \mu = 1.307 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}\right)$, que fluye de manera estable en una tubería de 0.20 cm de diámetro y 15 m de largo a una velocidad promedio de $1.2 \frac{m}{s}$.

Determine:

- La caída de presión
- La pérdida de carga
- La necesidad de potencia de bombeo para superar esta caída de presión

A) Tradicional

Solución: El enunciado menciona que es un flujo estable, por lo tanto, es posible que estemos hablando de un flujo laminar. Previo a determinar el número de Reynolds se convertirá el diámetro de cm a m, como se muestra en la ecuación 7

$$D = (0.2 \text{ cm}) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 0.002 \text{ m} \quad \text{ecuación (7)}$$

El número de Reynolds se obtiene al sustituir las variables como se muestra en la ecuación 8

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{\left(999.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (0.002 \text{ m})}{1.307 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 1835.7 \quad \text{ecuación (8)}$$

Al comparar magnitud obtenida con los rangos de la Figura 1, se deduce que el tipo de flujo que se tiene es de tipo laminar por la razón que se muestra en la ecuación 9

$$1835.71 \leq 2300 \text{ flujo laminar} \quad \text{ecuación (9)}$$

Al tener un flujo laminar, se utiliza la ecuación 2 para obtener el coeficiente de fricción que se muestra en la ecuación 10

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1835.71} = 0.0348 \quad \text{ecuación (10)}$$

Para determinar la caída de presión se utiliza la ecuación 5, como se muestra en la ecuación 11

$$\Delta P_L = \frac{f L \rho V^2}{2D} = \frac{(0.0348)(15 \text{ m}) \left(999.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{(2)(0.002 \text{ m})} = 187863.624 \text{ Pascales} \quad \text{ecuación (11)}$$

Para determinar la pérdida de carga se utiliza la ecuación 6, como se muestra en la ecuación 12

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} \quad \text{ecuación (12)}$$

$$= \frac{\left(187863.624 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)}{\left(999.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} = 19.155 \text{ m}$$

Para determinar la potencia de bombeo se utiliza la ecuación 7, como se muestra en la ecuación 13

$$W_{\text{bombeo}} = \vec{V} A \Delta P L = \left(1.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \left(\frac{\pi (0.002 \text{ m})^2}{4} \right) \left(187863.624 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) = 0.708 \text{ Watts} \quad \text{ecuación (13)}$$

B) Asistente programado

Solución: Primero se obtienen los datos del enunciado y se introducen de forma progresiva en el asistente.

Datos:

Agua

T = 10°C

$$\rho = 999.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 1.307 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} = 0.001307 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$D = \phi = 0.20 \text{ cm}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$\vec{V} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se selecciona el tipo de sección transversal de la tubería, en este caso es circular, como se muestra en la Figura 6



Fig. 6 Selección de sección transversal circular

Se introduce la magnitud del diámetro, en este caso 0.20 cm, como se muestra en la Figura 7

Cálculo de la Caída de Presión

☒ Circular
☐ Cuadrado
☐ Rectangular

Diameter: 0.20 cm

Seleccione la ecuación de acuerdo a los datos

$$Re = \frac{\rho V \left(\frac{D}{100}\right)}{\mu}$$

Fig. 7 Introducción de la magnitud del diámetro

De acuerdo con los datos proporcionados en el enunciado, se selecciona la ecuación de la derecha, es decir $Re = \rho V D / \mu$, se introducen los datos y se presiona el botón Calcular, como se muestra en la Figura 8

Cálculo de la Caída de Presión

☒ Circular
☐ Cuadrado
☐ Rectangular

Diameter: 0.2 cm

Seleccione la ecuación de acuerdo a los datos

$$Re = \frac{\rho V \left(\frac{D}{100}\right)}{\mu}$$

Indique la magnitud de ρ y μ

| | | |
|--------|----------|--------------------|
| V | 1.2 | m/s |
| ρ | 999.7 | m ³ /kg |
| μ | 0.001307 | kg/m*s |

Calcular

Fig. 8 Introducción de la magnitud del diámetro

El asistente muestra la magnitud del número de Reynolds, el tipo de flujo que se está desarrollando en el interior de la tubería y el coeficiente de fricción, al presionar el botón Siguiente como se muestra en la Figura 9

Resultados

RESULTADOS DE REYNOLDS: 1,835.7154

Tipo de Flujo: Re <= 2300 Flujo laminar

Coeficiente de Fricción: $f = \frac{64}{Re}$

El coeficiente de fricción es: 0.0349

Siguiente

Fig. 9 Introducción de la magnitud del diámetro

La interfaz muestra la ecuación para determinar la caída de presión, la pérdida de carga y la potencia de bombeo e ingresar la magnitud de la longitud y la aceleración gravitacional, como se muestra en la Figura 10

Resultados

RESULTADOS DE REYNOLDS: 1,835.7154

Tipo de Flujo: Re <= 2300 Flujo laminar

Coeficiente de Fricción: $f = \frac{64}{Re}$

El coeficiente de fricción es: 0.0349

Determine la caída de presión

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

Indique la magnitud de "L": 15 m

Determine la pérdida de carga

$h_L = \frac{f L V^2}{2Dg}$

Indique la magnitud de g: 9.81 m/s²

Determine la potencia de bombeo

$\dot{W}_{bomba} = \dot{V} \Delta P_L$

Magnitud de V: 1.2 m/s

Calcular

Fig. 10 Introducción de la magnitud de la longitud y la aceleración gravitacional

Al presionar el botón Calcular, muestra los resultados de la caída de presión, pérdida de carga y potencia de bombeo, como se muestra en la Figura 11

Resultados

RESULTADOS DE REYNOLDS: 1,835.7154

Tipo de Flujo: Re <= 2300 Flujo laminar

Coeficiente de Fricción: $f = \frac{64}{Re}$

El coeficiente de fricción es: 0.0349

Determine la caída de presión

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

Indique la magnitud de "L": 15 m

La caída de presión es: 188,208.0000 Pa

Determine la pérdida de carga

$h_L = \frac{f L V^2}{2Dg}$

Indique la magnitud de g: 9.81 m/s²

La pérdida de carga es: 19.1911 m

Determine la potencia de bombeo

$\dot{W}_{bomba} = \dot{V} \Delta P_L$

Magnitud de V: 1.2 m/s

La potencia de bombeo es: 0.7095 W

Calcular

Fig. 11 Introducción de la magnitud del diámetro

IV. CONCLUSIONES

El asistente ha mostrado estabilidad en el sistema operativo Windows 10 y 11, y un porcentaje de variación máximo de 0.2 %, al comparar los resultados obtenidos manualmente y los proporcionados por el asistente, la variabilidad se debe a que cuando se realiza de forma manual se utilizan tres decimales en tanto que con el asistente se utiliza el total de los decimales, lo que hace que será más preciso utilizar el asistente. Además de proporcionar el tipo de flujo que se daba en el interior de la tubería. El asistente permitió integrar un equipo multidisciplinario, realizar un registro de obra ante

INDAUTOR con número de registro 03-2022-100616005300-01 y despertar el interés por desarrollar programas que faciliten el aprendizaje y comprensión de los estudiantes en asignaturas de las ramas de física. Como trabajo futuro se buscará emplear este programa como objeto de aprendizaje durante las clases de mecánica de fluidos.

REFERENCES

- [1] M. López, F. Mancuso, R. M. Aguirre, G. R. Henderson, y M. G. Coussirat, “Uso de la Mecánica de Fluidos Computacional Como Apoyo a la Enseñanza de la Mecánica de los Fluidos en la Universidad”, *Mecánica Comput.*, vol. 34, núm. 24, Art. núm. 24, 2016.
- [2] A. E. Stramana, L. E. Panella, M. G. Coussirat, y E. F. Gandolfo, “Uso de Herramientas CFD como Apoyo al Aprendizaje de la Mecánica de los Fluidos en la Universidad”, *Mecánica Comput.*, vol. 33, núm. 33, Art. núm. 33, 2014.
- [3] “INTERESCFD.pdf”. Consultado: el 1 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://casbil.com/documentacion/Technical%20Articles/INTERESCFD.pdf>
- [4] R. Rolny, G. Henderson, y M. G. Coussirat, “Aplicación de la Mecánica de Fluidos Computacional a Flujos Compresibles sin Cambios de Área, No Isentrópicos como Complemento de Enseñanza en la Universidad”, *Mecánica Comput.*, vol. 36, núm. 22, Art. núm. 22, nov. 2018.
- [5] J. E. Duarte, J. A. N. Vega, y F. H. F. Morales, “Simulando y resolviendo, la teoría voy comprendiendo: una estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de la física.”, *Rev. Bol. Redipe*, vol. 11, núm. 1, Art. núm. 1, ene. 2022, doi: 10.36260/rbr.v11i1.1634.
- [6] “Requisitos del sistema | CFD 2021 | Red de conocimientos de Autodesk”. <https://knowledge.autodesk.com/support/cfd/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/SimCFD-Install-Notes/files/GUID-A15C448E-107C-447F-9F6D-0A585D5058C4-html.html> (consultado el 12 de noviembre de 2022).
- [7] B. Ferdinand, *Mecánica Vectorial Para Ingenieros Estática*. 2017.
- [8] C. Mataix, *Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas - 2b: Edición*. México, 2005.
- [9] *MECANICA DE FLUIDOS E HIDRAULICA de GILES*. Consultado: el 2 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberlibro.com/MECANICA-FLUIDOS-HIDRAULICA-GILES-PEARSON-EDUCACION/19183963517/bd>
- [10] I. H. Shames, *Mecánica de Fluidos*. 1996.
- [11] M. R. L., *Mecánica De Fluidos - 7ª Edición*. 2015.
- [12] “Mecánica de fluidos : Yunus A Cengel: Amazon.com.mx: Libros”. https://www.amazon.com.mx/Mec%C3%83%C2%A1nica-fluidos-%C3%87engel-Yunus/dp/1456260944/ref=sr_1_1?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=3T93JKKXLPC6Z&keywords=fundamentos+de+mecanica+de+fluidos+cengel&qid=1665615977&srefix=fundamentos+de+mecanica+de+fluidos+cengel%2Caps%2C244&sr=8-1 (consultado el 12 de octubre de 2022).
- [13] “Desktop Operating System Market Share Worldwide”, *StatCounter Global Stats*. <https://gs.statcounter.com/os-market-share/desktop/worldwide> (consultado el 16 de octubre de 2022).
- [14] G. Ayala San Martín, *Algoritmos y programación: mejores prácticas*. Fundación Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), 2020. Consultado: el 16 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/itcg/180290>
- [15] “Visual Basic”, *Wikipedia, la enciclopedia libre*. el 13 de septiembre de 2022. Consultado: el 16 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Visual_Basic&oldid=145936926