

## Experimento de Reynolds

### Reynolds' experiment

*Martín Ortiz-Domínguez<sup>a</sup>, Arturo Cruz-Avilés<sup>b</sup>, Oscar A. Gómez-Vargas<sup>c</sup>, Omar Damián-Mejía<sup>d</sup>, Yira Muñoz-Sánchez<sup>e</sup>, José Sergio Pacheco-Cedeño<sup>f</sup>*

---

#### Abstract:

In this laboratory practice, the Reynolds number ( $Re = Dv\rho / \mu$ ) will be obtained with the help of the determination of the flow rate ( $Q = Av$ ), to make a difference between laminar and turbulent flow.

#### Keywords:

Reynolds number, flow rate, laminar flow, turbulent flow

---

#### Resumen:

En la presente práctica de laboratorio, se obtendrá el número de Reynolds ( $Re = Dv\rho / \mu$ ) con ayuda de la determinación del caudal ( $Q = Av$ ), para hacer una diferencia entre flujo laminar y turbulento.

#### Palabras Clave:

Número de Reynolds, caudal, flujo laminar, flujo turbulento

---

### Introducción

La mecánica de fluidos es la ciencia que estudia el comportamiento de los fluidos y su interacción con sólidos u otros fluidos. El número de Reynolds es importante ya que tiene múltiples aplicaciones en diferentes campos como lo son el diseño de redes hidráulicas, comportamiento y diseño de naves en la aeronáutica, comportamiento y diseño de buques navales y en la medicina como lo es la microbiología. Los diferentes regímenes de flujo y la asignación de valores numéricos

de cada uno, fueron reportados por primera vez por Osborne Reynolds en 1883 (Barrero, et al. 2005; Cengel y Cimbala, 1996).

**Flujo laminar:** Es el movimiento ordenado caracterizado por capas contiguas de fluido que no se mezclan entre sí. La palabra laminar proviene del movimiento de partículas juntas adyacentes del fluido, que se conocen como "láminas" (ver Figura 1).

---

<sup>a</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4475-9804>, Email: martin\_ortiz@uaeh.edu.mx

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0455-1646>, Email: arturo\_cruz8085@uaeh.edu.mx

<sup>c</sup> Tecnológico Nacional de México, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4475-9804>, Email: oscar.gv@tlalnepantla.tecnm.mx

<sup>d</sup> Escuela Preparatoria Oficial Núm. 53, San Juan Zitlaltepec, Zumpango, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3158-4034>, Email: damo831010hocmjm01@bngem.mx

<sup>e</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-4876-2747>, Email: yira@uaeh.edu.mx

<sup>f</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, sergio\_pacheco@uaeh.edu.mx

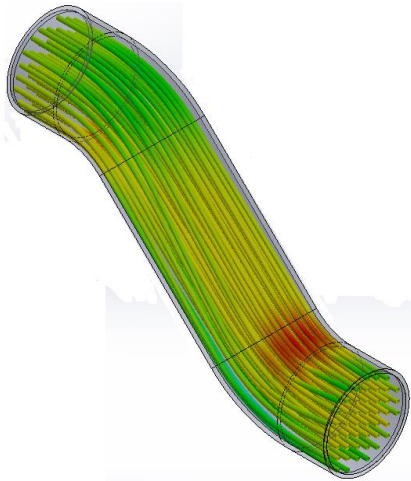


Figura 1. Levantamiento manual de una carga. Fuente: Elaboración propia.

**Flujo turbulento:** Es el movimiento intensamente desordenado de un fluido, es común que se presente a velocidades altas y se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad (ver Figura 2). Un flujo que se alterna entre laminar y turbulento se conoce como flujo en transición.

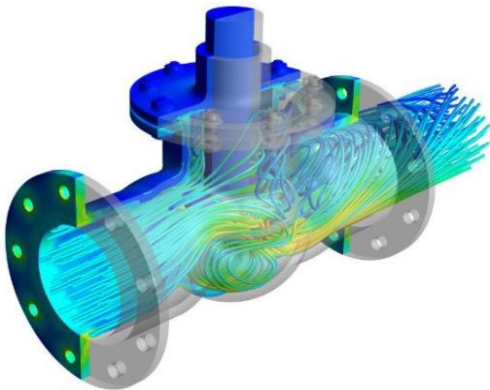


Figura 2. Flujo turbulento. Fuente: Elaboración propia.

Reynolds observó que el tipo de flujo adquirido por un fluido que fluye dentro de una tubería depende de la velocidad del líquido, el diámetro de la tubería y de algunas propiedades físicas del fluido. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar ( $Re \leq 2000$ ) de transición ( $2000 \leq Re \leq 4000$ ) o turbulento ( $Re \geq 4000$ ) (Cengel y Cimbala, 1996; Mott, 1996; Potter, et al. 1998).

Obtener el número de Reynolds ( $Re = Dv\rho / \mu$ ) con ayuda de la determinación del caudal ( $Q = Av$ ), para hacer una diferencia entre flujo laminar y turbulento.

### Objetivos específicos

- Deducir el caudal del fluido empleado, a través del volumen y el tiempo que tarda en alcanzar una cierta medida fijada previamente, para obtener el número de Reynolds de un fluido.
- Determinar el diámetro interno del tubo donde circula el fluido, con ayuda de un vernier, para obtener el número de Reynolds de un fluido.

### Aplicaciones prácticas

#### Aire acondicionado de un automóvil

Un elemento muy importante de nuestro vehículo, sobre todo en verano, es el aparato de aire acondicionado. Este sistema permite enfriar y purificar el aire del habitáculo además de eliminar el exceso de humedad y los malos olores. En todos los vehículos modernos forma una parte fundamental del circuito de ventilación y calefacción. Este dispositivo permite regular la temperatura del interior del coche a la deseada, independientemente de la época del año y la climatología que exista en el exterior. Debido a estas características se ha convertido en un elemento de seguridad dentro de los coches. Conducir bajo una ola de calor sin disponer de aire acondicionado, nos dificulta en gran medida la toma de decisiones y entorpece los reflejos. Asimismo, es muy importante suministrar un flujo laminar de aire frío y caliente, esencial para la seguridad y el confort en la conducción (ver Figura 3). Los sistemas de aire acondicionado y climatizador de nuestros coches cuentan con recirculación del aire o reciclaje del aire (Mott, 1996; Potter, et al. 1998).

### Objetivo general

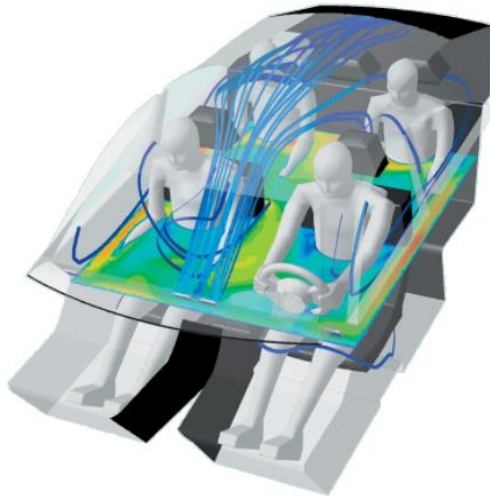


Figura 3. Trayectorias descritas por el aire que sale del panel central de refrigeración del automóvil. Fuente: Elaboración propia.

**Distribución de suministro de aire por efecto de desplazamiento**

El concepto de suministro de un flujo laminar de aire por desplazamientos, por ejemplo, de áreas o equipos de Grado A o ISO 5 donde las partículas ambientales de una sala son desplazadas por el aire limpio filtrado mediante una etapa terminal con filtros que fluye en una sola dirección y en forma descendente (ver Figura 4). En estos casos se deberá tener en consideración que los límites de concentración en estas clases de limpieza de aire requieren de una gran superficie de suministro de aire limpio para lograr una velocidad constante que permita el desplazamiento de las partículas (Mott, 1996; Potter, et al. 1998).

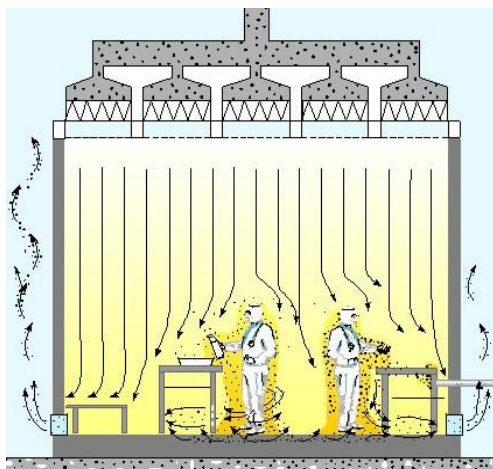


Figura 4. Suministro de un flujo laminar de aire por efecto de desplazamiento. Fuente: Elaboración propia.

**Cabina de bioseguridad**

Las cabinas de seguridad biológica (ver Figura 5) son equipos diseñados para mantener un área, libre de partículas o de probables contaminantes que puedan alterar el producto o el proceso con el cual se trabaja, afectar la salud del trabajador operario, o dañar el medio ambiente. El acondicionamiento del área limpia se logra mediante la combinación de elementos electromecánicos (motor, ventilador, filtro, conductos, iluminación, etc.), y procesos físicos (flujo laminar, diferencial de presiones). De esta manera, los ventiladores impulsan el aire a través de unos filtros especiales de gran superficie, estratégicamente situados, que tienen una eficiencia mínima de retención de partículas del 99,99%, cuando el tamaño de las mismas es en promedio de 0.3  $\mu\text{m}$  (micrómetros). Dichos filtros se conocen internacionalmente como filtros HEPA y resultan adecuados para retener los aerosoles que se generan cuando se realizan procedimientos experimentales con agentes biológicos como agitación, centrifugación o mezcla (Mott, 1996; Potter, et al. 1998).

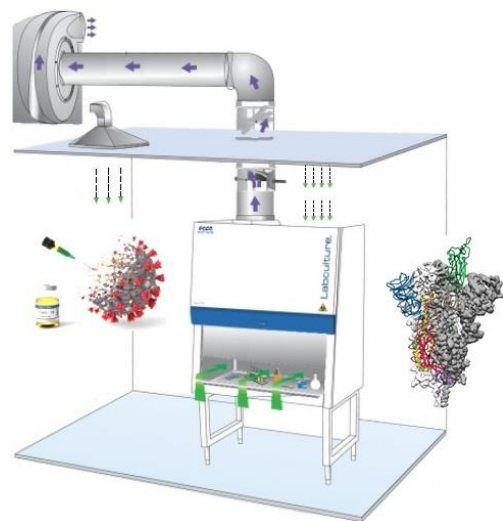


Figura 5. Cabina de bioseguridad. Fuente: Elaboración propia.

**Teoría**

**Fundamentos teóricos de visualización del flujo de fluidos**

El estudio cuantitativo de la mecánica de fluidos exige matemáticas avanzadas; sin embargo, se puede aprender mucho con la visualización del flujo, la cual consiste básicamente en un examen visual de las

características del campo de flujo. Por lo anterior, se presentarán los siguientes conceptos:

**Línea de Corriente:** es una curva que, en todas partes, es tangente al vector velocidad local instantáneo (ver Figura 6).

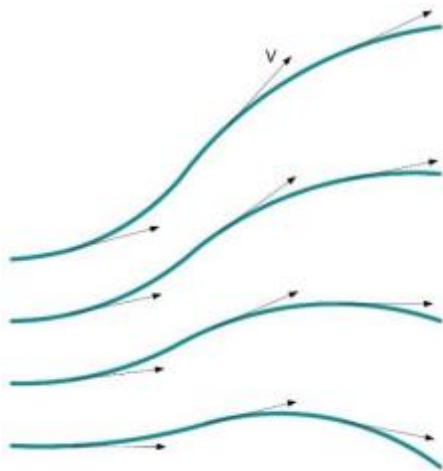


Figura 6. Líneas de corriente. Fuente: Elaboración propia.

**Línea de trayectoria:** es la trayectoria real recorrida por una partícula de fluido durante algún periodo de tiempo (ver Figura 7).



Figura 7. Línea de trayectoria. Fuente: Elaboración propia.

**Línea de traza:** es el lugar geométrico de las partículas de fluido que han pasado de manera secuencial por un punto específico en el flujo (Figura 8).

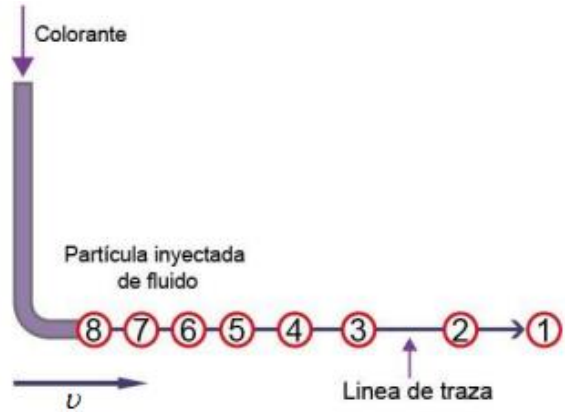


Figura 8. Línea de traza. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 8 muestra una línea de traza formada por la introducción continua de un colorante desde un punto determinado en el flujo. Las partículas trazadoras numeradas del 1 al 8 se introdujeron de manera secuencial.

**Línea fluida o de tiempo:** es un conjunto de partículas adyacentes de fluido que se marcaron en el mismo instante de tiempo (Figura 9). Las líneas fluidas se forman marcando una línea de partículas de fluido, con la finalidad de observar el movimiento y la deformación de esa línea a través del campo de flujo; en la Figura 11 se muestran las líneas fluidas en  $t = 0, t = t_1, t = t_2, y t = t_3$

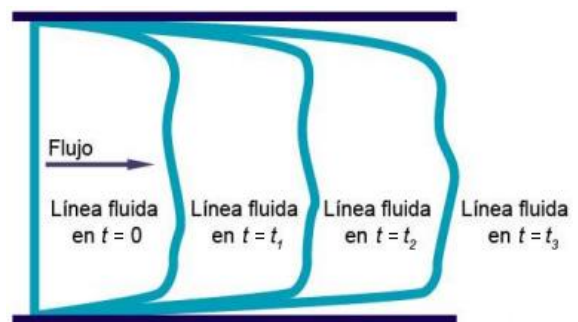


Figura 9. Línea de traza. Fuente: Elaboración propia.

### Experimento de Reynolds y otros detalles acerca de los regímenes laminar y turbulento

La existencia de dos tipos distintos de flujo viscoso es un fenómeno universalmente aceptado. El humo que emana de un cigarrillo encendido parece fluir en forma suave y

uniforme a corta distancia de donde se forma y después cambia en modo abrupto a un patrón muy irregular, formando una trayectoria inestable. En el agua que sale lentamente de una llave puede observarse un comportamiento similar. El tipo de flujo bien ordenado ocurre cuando las capas adyacentes de fluido se deslizan en forma suave una sobre otra y el mezclado entre las capas o láminas sólo se produce a un nivel molecular. Fue para este tipo de flujo para el que se derivó la relación de Newton para la viscosidad y, para que sea posible medir la viscosidad,  $\mu$ , debe existir el flujo laminar. El segundo régimen de flujo, en el que se transfieren entre las capas pequeños paquetes de partículas de fluido, dándole una naturaleza fluctuante, se llama régimen de flujo turbulento. La existencia del flujo laminar y turbulento, aunque ya se había reconocido antes, fue descrita por primera vez, en forma cuantitativa, por Reynolds en 1883. En la Figura 14, se ilustra su experimento clásico. Se permitió fluir agua a través de un tubo transparente, como el que se muestra, controlando su rapidez por medio de una válvula. En la abertura del tubo se introdujo un colorante cuyo peso específico es igual al del agua y se observó el patrón que forma al aumentar progresivamente la rapidez de flujo del agua. Si la rapidez de flujo era baja, el patrón del colorante era regular y formaba una sola línea de color como lo muestra la Figura 10.

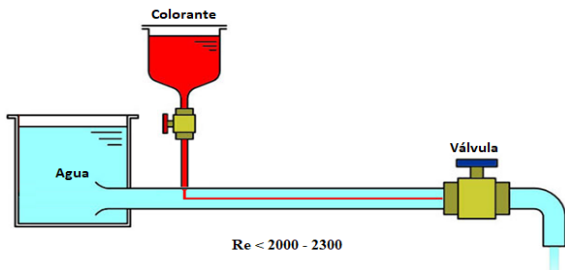


Figura 10. Corriente de tinta en un flujo laminar. Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, al incrementarse la rapidez del flujo, el colorante se dispersaba en la sección transversal de la tubería a causa del movimiento tan irregular del fluido como lo muestra la Figura 11. La diferencia en la forma de la huella del colorante se debió, por supuesto, a la naturaleza ordenada del flujo laminar en el primer caso y al carácter fluctuante del flujo turbulento en el último.

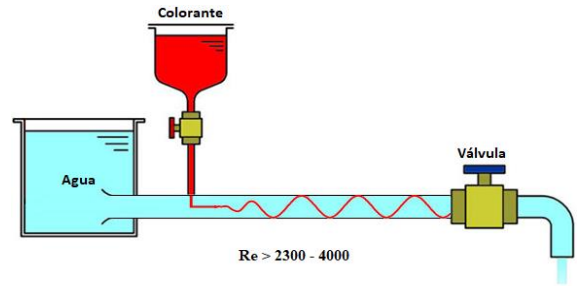


Figura 11. Corriente de tinta en un flujo turbulento. Fuente: Elaboración propia.

Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo. Mientras que aumenta el flujo másico aumenta las fuerzas del momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye. Cuando estas fuerzas opuestas alcanzan un cierto equilibrio se producen cambios en las características del flujo. En base a los experimentos realizados por Reynolds en 1874 se concluyó que las fuerzas del momento son función de la densidad, del diámetro de la tubería y de la velocidad media. Además, la fricción o fuerza viscosa depende de la viscosidad del líquido. Según dicho análisis, el Número de Reynolds se definió como la relación existente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas (o de rozamiento).

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} \quad (1)$$

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{D v}{\nu} \quad (2)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del fluido

$v$  = Velocidad del fluido

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido

$D$  = Diámetro interno de la tubería

El número de Reynolds proporciona una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos. Observando la Ec. (2), cuando las fuerzas viscosas tienen un efecto dominante en la pérdida de energía, el número de Reynolds es pequeño y el flujo se encuentra en el

régimen laminar. Si el Número de Reynolds es 2000 o menor el flujo será laminar. Un número de Reynolds mayor de 4000 indican que las fuerzas viscosas influyen poco en la pérdida de energía y el flujo es turbulento. Finalmente si el número de Reynolds llega a estar entre los valores igual o mayor a 2000 e igual o menor a 4000 se considera que el flujo de ese fluido es transicional. Con la finalidad de hacer una comparación entre los perfiles de velocidades laminar y turbulento, en la Figura 12 se muestra un flujo laminar que entra a una tubería, el cual, después de superar la región de entrada, se vuelve completamente desarrollado, esto quiere decir, que la velocidad ya no depende de la coordenada radial del tubo, sino nada más de la coordenada longitudinal denotada por “x” en la Figura 12.

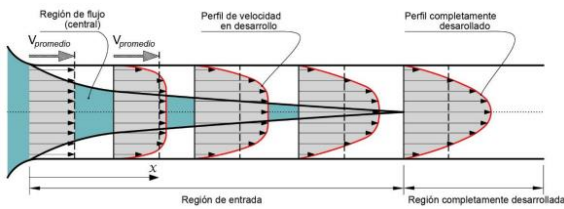


Figura 12. Desarrollo del perfil de velocidades en una tubería circular para flujo laminar. Fuente: Elaboración propia.

### El Método de Moody-Rouse

El diagrama de Moody-Rouse es uno de los más utilizados para calcular la pérdida de carga distribuida. Se entra con el valor de e/D (rugosidad relativa) y el número de Reynolds (Re), obteniéndose en ella el valor de f (coeficiente de rozamiento). La fórmula de pérdida de carga para la aplicación del diagrama de Moody-Rouse es:

$$h_L = \frac{\Delta P}{\gamma} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Donde:

$h_L$  = Pérdida de carga

$f$  = Coeficiente de rozamiento

$L$  = Longitud del tubo

$D$  = Diámetro interno de la tubería

$v$  = Velocidad del fluido

$g$  = Aceleración de la gravedad

La rugosidad relativa es expresada por el cociente entre el diámetro interna de la tubería y la rugosidad absoluta (e/D). El coeficiente de rozamiento  $f$  debe ser calculado correctamente con ayuda del diagrama de Moody para estimarse con precisión la pérdida de carga (ver Figura 13).

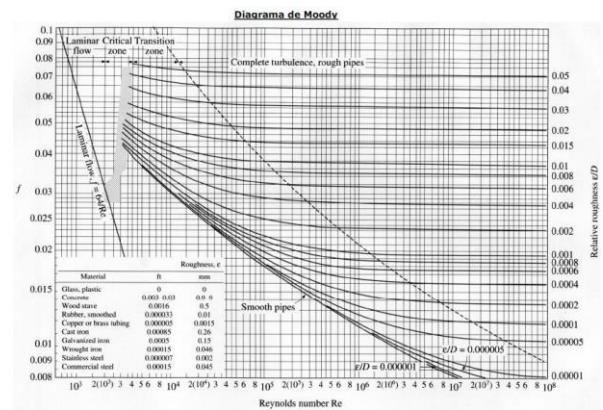


Figura 12. Diagrama de Moody. Presenta regiones características: Región laminar (Re<2100), Región de transición (2100<Re<4000) y Región Turbulenta (Re > 4000). Fuente: Elaboración propia.

### Materiales y procedimiento

Esta práctica permite que los estudiantes puedan estimar el número de Reynolds para un flujo laminar y turbulento (ver Figura 13).

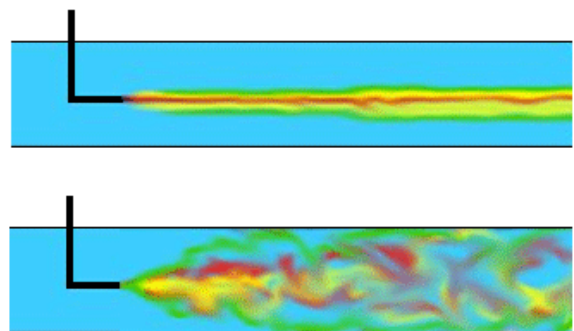


Figura 13. Flujo laminar y turbulento. Fuente: Elaboración propia.

El dispositivo empleado para determinar el número (ver Figura 7) de Reynolds consta de un contenedor de acero inoxidable, tubo de acrílico transparente, una válvula de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, un depósito de tinta y un depósito de desagüe.

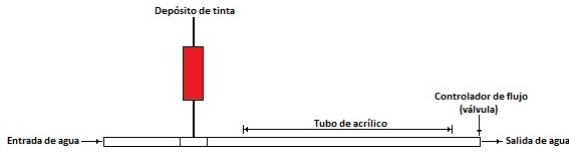


Figura 14. El dispositivo para determinar el número de Reynolds. Fuente: Elaboración propia.

1.- Vernier: un instrumento de medición, principalmente de diámetros exteriores, interiores y profundidades;



Figura 15. Vernier (Truper, 2023).

2.- Tres tubos de acrílico de  $\frac{3}{4}$  pulgada: permite observar el tipo de flujo (laminar o turbulento) que circula por su interior.

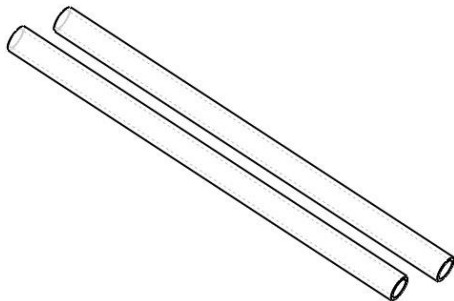


Figura 16. Tubo de acrílico (Truper, 2023).

3.- Depósito de agua: es empleado para suministrar la entrega y desagüe del fluido



Figura 17. Depósito de agua. Fuente: Elaboración propia.

4.- Válvula de agua: empleada para controlar el flujo de agua.



Figura 18. Válvula de agua (Truper, 2023).

5.- Depósito de tinta: permite observar los diversos tipos comportamientos del fluido conforme varía la velocidad. Cuando el fluido se encuentra dentro del régimen laminar, el colorante aparecerá como una línea perfectamente definida y cuando se encuentra en el régimen turbulento (velocidades altas) el colorante se difunde a través de toda la corriente.

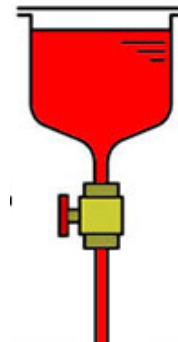


Figura 19. Depósito de tinta. Fuente: Elaboración propia.

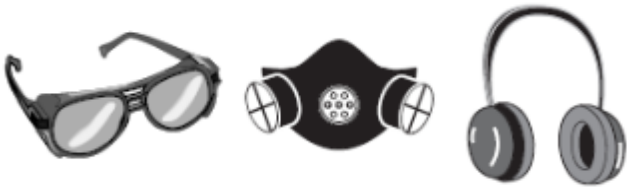
### Procedimiento experimental

Equipo de protección individual a utilizar:

- Bata blanca
- Botas de seguridad
- Guantes de látex blandos
- Gafas de protección
- Cubrebocas
- Zapato de seguridad WSM ergonómico con casquillo
- Orejeras de doble cubierta

### Advertencia

El uso de este dispositivo sin el equipo de protección adecuado podría dañar sus ojos, pulmones y oídos. Utilice siempre gafas de seguridad, un respirador y protección auditiva cuando utilice esta máquina.



El cabello y la ropa sueltos pueden quedar atrapados en el dispositivo y causar lesiones personales graves. Mantenga la ropa suelta y el cabello largo lejos de la maquinaria en movimiento.



### Nota

Si nunca antes ha usado este tipo de máquina o equipo, LE RECOMENDAMOS ENCARECIDAMENTE que lea libros, revistas especializadas o reciba capacitación formal antes de comenzar cualquier proyecto. Independientemente del contenido de esta sección.

Procedimiento para llevar a cabo la deformación del alambre de cobre. Lee cuidadosamente los siguientes pasos, si tienes alguna duda pregunta a tu docente o encargado de laboratorio correspondiente:

1. Leer el manual teórico de la práctica proporcionado por el docente o encargado de laboratorio para entender los principios fundamentales del sistema mecánico (Dispositivo empleado para determinar el número de Reynolds).
2. Mida el diámetro interior del tubo de acrílico.
3. Verificar que la válvula se encuentre cerrada.
4. Llenar el depósito de agua (contenedor de acero inoxidable) con 50 lt.
5. Alimentar el depósito de tinta con azul de metileno.
6. Coloque un depósito en la salida del desagüe.
7. Espere que el dispositivo del número de Reynolds este lleno, (evitar que se formen remolino, esto causaría tener una mezcla de fluidos agua-aire).
8. Cierre la válvula (controlador de flujo), para evitar descargar el caudal hacia el desagüe.
9. Abra la válvula de control del caudal del dispositivo de Reynolds, lentamente aproximadamente a un cuarto de vuelta de la válvula para controlar el caudal y obtenga un flujo laminar.
10. Determinar el caudal por medio de un vaso de precipitado de dos litros y tome su tiempo de llenado, (se recomienda hacerlo por triplicado y sacar un promedio).
11. Ya que se encuentre a régimen permanente, adicionar gota a gota el colorante azul de metileno, abriendo la válvula del depósito de tinta para comprobar que se trata de un flujo laminar.
12. Una vez observado el flujo, cerrar la válvula de depósito de la tinta,
13. Abra la válvula de descarga esperar que salga toda el agua pintada.



14. Cerrar la válvula del desagüe.
15. Abrir más la válvula de control del caudal del dispositivo de Reynolds, lentamente aproximadamente a la mitad de vuelta de la válvula para controlar el caudal y obtenga un régimen de transición.
16. Repetir los pasos 4 hasta el 14.
17. Abrir más la válvula de control del caudal del dispositivo de Reynolds, lentamente aproximadamente a los tres cuartos de vuelta de la válvula para controlar el caudal y obtenga un régimen de turbulento.
18. Repetir los pasos 4 hasta el 14.
19. Terminada la operación, realice lo siguiente:
  - b) Abrir la válvula de desagüe.
  - c) Esperar que el recipiente del dispositivo de Reynolds se descargue.
  - d) Verter la tinta y limpiar el depósito.

### Resultados

**Nota: Asegurarse de utilizar las unidades del sistema internacional (SI).**

En la Tabla 1, escriba los valores obtenidos en esta práctica.

Tabla 1. Datos experimentales. Fuente: Elaboración propia.

Volumen de agua (m <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1.	1.	1.
2.	2.	2.
3.	3.	3.
4.	4.	4.
5.	5.	5.

Caudal

$$Q = Av$$

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

Donde:

$A$  = Área interior del tubo de acrílico

$v$  = Velocidad del fluido

$Q$  = Caudal del fluido

Finalmente, se determina el número de Reynolds de la siguiente manera:

$$Re = \frac{Dv}{\nu} = \frac{DQ}{Av}$$

Donde:

En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos, para los números de Reynolds.

Tabla 2. Número de Reynolds y tipo de flujo. Fuente: Elaboración propia.

velocidad (m/s)	Número de Reynolds	Tipo de flujo
1.	1.	1.
2.	2.	2.
3.	3.	3.
4.	4.	4.
5.	5.	5.

### Simulación

Con ayuda del software ANSYS (es una herramienta simulación CAE multifísico para análisis y simulación por elementos finitos (FEA). Incluye las fases de pre-proceso, resolución y post-proceso en una única plataforma de trabajo. Ansys ejecuta análisis a piezas o conjuntos usados en ingeniería y diseño mecánico que están sometidos a uno o varios fenómenos físicos de manera individual o simultánea) se hace una simulación de un flujo de aire que sale del panel central de refrigeración del automóvil (ver Figura 20).

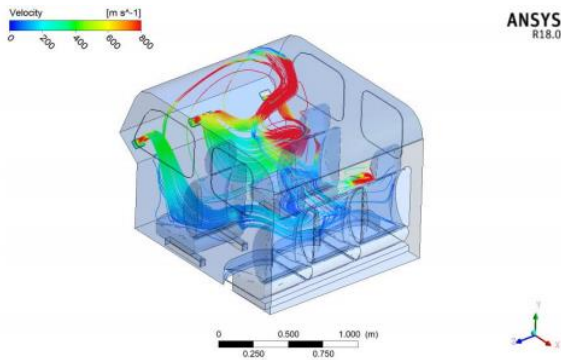


Figura 20. Sistema de refrigeración de un automóvil.  
Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

En la práctica se determinó el caudal del fluido empleado, a través del volumen y el tiempo que tarda en alcanzar una cierta medida fijada previamente, para obtener el número de Reynolds de un fluido. Además, se determinó el diámetro interno del tubo donde circula el fluido, con ayuda de un vernier, para obtener el número de Reynolds de un fluido.

## Referencias

- Barrero, R. A., Pérez-Saborid, Sánchez-Pastor, M., (2005). Fundamentos y Aplicaciones de la Mecánica de Fluidos. McGraw-Hill/Interamericana España. Madrid, 565 p.
- Cengel, Y. A., Cimbala, J. M., (1996). Mecánica de Fluidos “Fundamentos y Aplicaciones”. McGraw-Hill/Interamericana Editores. México, 956p.
- Mott, R. L., (1996). Mecánica de Fluidos Aplicada. Prentice Hall Hispanoamericana. México, 580p.
- Potter, M. C.; Wiggert, D. C. Hondzo, M., (1998). Mecánica de Fluidos. Prentice Hall Hispanoamericana. Segunda Edición. México, 752p.
- Truper, S.A. de C.V., (2023). Catalogo TRUPER, recuperado de: Truper® - Es mucha herramienta