

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE OSBORNE REYNOLDS PARA EL ESTUDIO DE FLUJO DE FLUIDOS.

Madrid López Juan Enrique <sup>a,\*</sup>, Candelas Cadillo María Guadalupe <sup>a</sup> Víctor Manuel Rodríguez González <sup>a</sup>, Ramírez Salas Manuel Horacio <sup>a</sup>

a Facultad de Ciencias Químicas Universidad Juárez Del Estado de Durango, Artículo123 s/n, Filadelfia, C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México. \* [madrid.0@hotmail.es](mailto:madrid.0@hotmail.es).

### RESUMEN:

Con el fin de que los alumnos de Ingeniería Química en Alimentos complementen la teoría por medio de la práctica, se decidió diseñar y construir un aparato de Reynolds para el estudio de flujo de fluidos, cuyo objetivo tecnológico es tratar de reproducir el experimento realizado por Osborne Reynolds visualizando los flujos laminar, turbulento y de transición. El diseño del prototipo se realizó de tal manera que sea sencillo y de bajo costo, que sirva para desarrollar trabajos de investigación y prácticas de docencia para la caracterización de fluidos, estudios de flujo de fluidos y cálculo del número de Reynolds. Los materiales de este equipo son suficientemente resistentes, adecuados y funcionales para los propósitos expuestos. Para la validación del prototipo se realizaron específicamente pruebas con agua y anilina para corroborar el funcionamiento del equipo, así como también se elaboró un manual del usuario.

### ABSTRACT:

To students of Chemical Engineering in Food supplement theory through practice, it was decided to design and build a Reynolds device to study flow of fluid, the technological objective is to try to reproduce the experiment by Osborne Reynolds viewing laminar, transitional and turbulent flows. The design of the prototype was performed in a manner that is simple and inexpensive, which serves to develop research and teaching practices for fluid characterization, studies about flow of fluid and Reynolds number calculation. The materials of this equipment are sufficiently strong, adequate and functional for the purposes set. For prototype validation tests were conducted with water and aniline specifically to corroborate equipment operation and a user's manual was also developed.

### Palabras clave:

Número de Reynolds, flujo de fluidos, tipos de flujo.

### Keyword:

Reynolds number, fluid flow, flow rates.

### Área: Otros

### INTRODUCCIÓN

En este tema se aborda el movimiento de líquidos por el interior de conducciones circulares o tuberías. La mecánica de los fluidos como una ciencia básica de la ingeniería, es una rama de la mecánica que se aplica al estudio del comportamiento de los fluidos, ya sea que estos se encuentren en reposo o en movimiento. Para su debida comprensión, su estudio debe iniciarse con el conocimiento de las propiedades físicas de los fluidos, entre las cuales las más destacadas son la densidad y la viscosidad, ya que estas se emplean comúnmente en los cálculos de los escurrimientos en distintos tipos de conducta (Díaz J.).

El flujo y el comportamiento de los fluidos tienen gran importancia en muchas de las operaciones unitarias de ingeniería de proceso. Un fluido puede definirse como la sustancia que no resiste de manera permanente la distorsión causada por una fuerza y, por lo tanto, cambia de forma (García, 2004).

Al hablar de flujo en tuberías, se hace referencia al comportamiento de las partículas fluidas al moverse. De esta forma podemos hablar de un régimen laminar y un régimen turbulento (Geankoplis, 1986).

El comportamiento de los fluidos es importante para los procesos de ingeniería en general y constituye uno de los fundamentos para el estudio de las operaciones unitarias. El conocimiento de los fluidos es esencial, no solo para tratar con precisión los problemas de movimiento de fluidos a través de tuberías, bombas y otro tipo de equipos de proceso, sino también para el estudio del flujo de calor y de muchas operaciones de separación que dependen de la difusión y transferencia de masa.

El estudio Reynolds, determina las características de flujo de los fluidos inyectando un trazador dentro de un líquido que fluye por una tubería. A velocidades bajas del fluido, se ve que el movimiento tiene un carácter laminar. Sin embargo cuando hay velocidades mayores, el flujo del fluido se desorganiza obteniendo así un flujo turbulento. Para medir el parámetro se utiliza el número de Reynolds, el cual es un número adimensional para definir las características del flujo dentro de una tubería. También indica la pérdida de energía causada por efectos viscosos (McCabe, 2007).

El número de Reynolds es el número que da las características del fluido, ya que es el cociente de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido, entre la fuerza viscosa, también permite caracterizar la naturaleza del flujo, es decir, si se trata de un flujo laminar o turbulento (Galván 2011).

En todos los flujos existe un valor de un parámetro para el cual se produce la transición del flujo laminar a flujo turbulento, habitualmente denominado número de Reynolds crítico. Generalmente para flujo en tubos se establecen los siguientes valores críticos del número de Reynolds.

- Si  $Re < 2300$ , el flujo es laminar
- Entre  $2300 < Re < 4000$  existe una zona de transición de flujo laminar a turbulento.
- Si  $Re > 4000$  el flujo es turbulento (Gallegos, 2011).

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (1)$$

Re: Número de Reynolds

$\rho$ : Densidad (densidad del agua = 1000kg/m<sup>3</sup>)

v: Velocidad del fluido

D: Diámetro de la tubería o su Diámetro equivalente

$\mu$ : Viscosidad dinámica (viscosidad dinámica del agua)

En una ingeniería práctica, el flujo laminar se presenta en líneas que no se cruzan ni se bifurcan en la corriente, estas siguen una trayectoria paralela. Bajo estas condiciones el movimiento de las partículas del colorante puede ser fácilmente identificado como una línea donde la tinta no se mezcla (Duarte, 2004).

Cuando el caudal va aumentando, la transición del régimen laminar a turbulento constituye un proceso gradual. La caída de presión y las características de transferencia de calor puede ser un factor de importancia para considerar al momento de diseñar un sistema (Universidad de Alicante, 2011).

El flujo turbulento se presenta usualmente en los problemas prácticos de ingeniería tal como el caso de flujo en tuberías, flujo en canales, flujo en máquinas hidráulicas, flujo en ríos y flujo en zona de rompientes y se caracteriza por la agitación. Las líneas que forman remolinos, se cruzan y se bifurcan. La velocidad fluctúa en cada punto con respecto al tiempo (Fernández, 2009).

El objetivo del diseño de un prototipo de bajo costo y de materiales resistentes y de gran durabilidad, será parte esencial para desarrollar trabajos de investigación y prácticas de docencia para la caracterización de fluidos, estudios de flujo de fluidos, cálculo del número de Reynolds y sobre todo la comprensión del conocimiento teórico adquirido al ejercer la práctica así como el desarrollo de habilidades de los alumnos de la carrera de Ingeniería Química en Alimentos.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

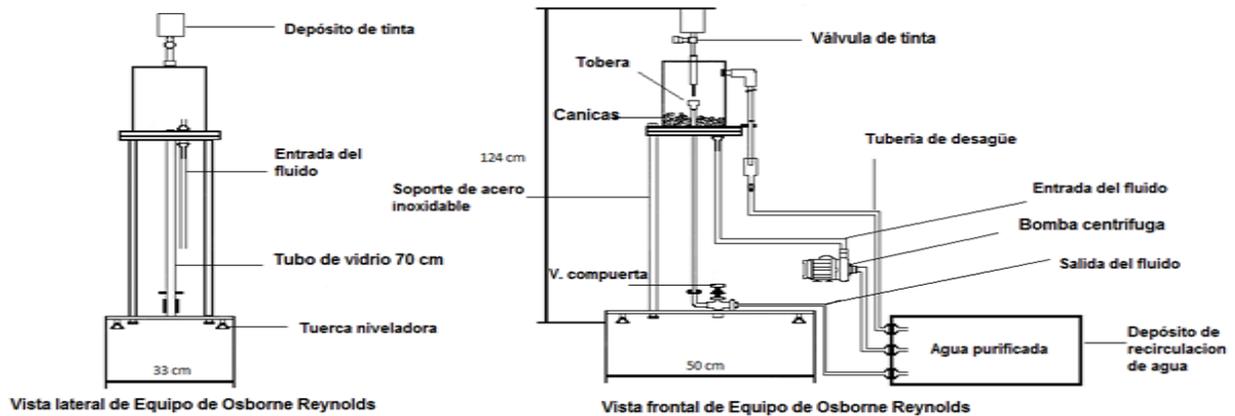
El equipo de Osborne Reynolds fue diseñado y construido en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Químicas Campus Gómez Palacio. Las dimensiones fueron tomadas con ayuda de una cinta métrica, y con ello la elaboración de bocetos para el diseño del equipo, los materiales con los que está construido el equipo son resistentes y de un costo accesible. Los depósitos para el agua fueron fabricados con acrílico termoformado con una capacidad de 10 y 0.25 litros. El tubo de visualización de 70 cm también es de material acrílico.

El acrílico puede ser expuesto a la lluvia y luz solar sin perder sus propiedades físicas, es de peso liviano tiene resistencia al impacto y sobre todo que cuenta con una transparencia 5% mayor que la de un vidrio común. Para la elección de accesorios fueron tomados en cuenta material galvanizado, plástico, PVC, C-PVC, una estructura de acero inoxidable propiciando una resistencia a la corrosión y a sus propiedades higiénicas, una mesa de trabajo con dimensiones de 85x85x85cm para posicionar el equipo para un mejor control.

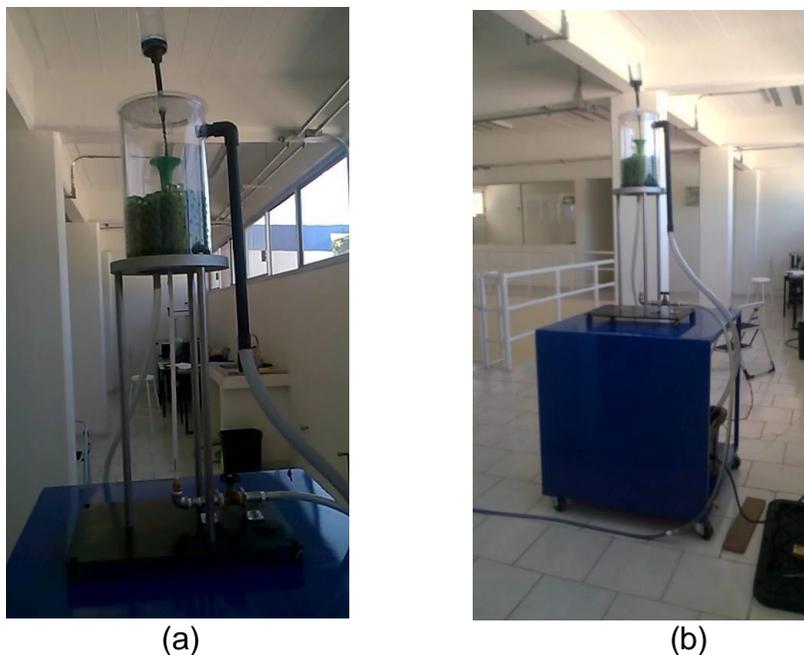
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Figura 1 se presenta el Diagrama del equipo de Osborne y Reynolds que se diseñó en la Facultad de Ciencias Químicas de la UJED en Gómez Palacio, Dgo. Y

en la Figura 2 se muestra ya construido y probado para la realización de prácticas de laboratorio sobre flujo de fluidos.



**Figura 1.** Diseño del equipo de Osborne Reynolds de la Facultad de Ciencias Químicas de la UJED Unidad Gómez Palacio.



**Figura 2.** Equipo de Osborne Reynolds construido en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango Unidad Gómez Palacio. (a) Entrada de agua y colorante (b) Vista del equipo completo  
Se llevaron a cabo varias pruebas usando agua a diferentes temperaturas, manejando como variables independientes la temperatura y el caudal. En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados del Número de Reynolds y el régimen del flujo. La densidad y viscosidad se recuperaron de bibliografía. El diámetro y área de la tubería son fijos.

**Tabla I.** Datos obtenidos a una temperatura de 24° C

Diámetro de tubería m	Área de tubería m <sup>2</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup> (24 °C)	Viscosidad Kg/m*s (24 °C)	Tiempo minutos	Caudal m <sup>3</sup> /s	Velocidad m/s	Número de Reynolds	Régimen observado	Régimen calculado
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.300	5.550X10 <sup>-6</sup>	0.144	1,108.17	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.280	5.556X10 <sup>-6</sup>	0.144	1,108.17	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.280	5.797X10 <sup>-6</sup>	0.150	1,156.45	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.127	1.312X10 <sup>-5</sup>	0.341	2,618.68	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.116	1.434X10 <sup>-5</sup>	0.373	2,863.17	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.102	1.633X10 <sup>-5</sup>	0.425	3,260.91	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.069	2.409X10 <sup>-5</sup>	0.627	4,808.99	Turbulento	Turbulento
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.067	2.481X10 <sup>-5</sup>	0.646	4,951.53	Turbulento	Turbulento
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	997.38	0.000911	0.062	2.666X10 <sup>-5</sup>	0.694	5,318.63	Turbulento	Turbulento

**Tabla II.** Datos obtenidos a una temperatura de 36° C

Diámetro de tubería m	Área de tubería m <sup>2</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup> (36 °C)	Viscosidad Kg/m*s (36 °C)	Tiempo minutos	Caudal m <sup>3</sup> /s	Velocidad m/s	Número de Reynolds	Régimen observado	Régimen calculado
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.2845	5.850X10 <sup>-6</sup>	0.152	1,499.75	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.247	6.724X10 <sup>-6</sup>	0.175	1,727.68	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.2113	7.886X10 <sup>-6</sup>	0.205	2,025.65	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.1531	1.088X10 <sup>-5</sup>	0.305	2,795.27	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.1515	1.100X10 <sup>-5</sup>	0.286	2,825.85	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.142	1.723X10 <sup>-5</sup>	0.274	3,011.35	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.133	1.257X10 <sup>-5</sup>	0.325	3,211.65	Turbulento	Turbulento
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.128	1.300X10 <sup>-5</sup>	0.338	3,340.90	Turbulento	Turbulento
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	993.73	0.000705	0.105	1.582X10 <sup>-5</sup>	0.412	4,065.13	Turbulento	Turbulento

**Tabla III.** Datos obtenidos a una temperatura de 40° C

Diámetro de tubería m	Área de tubería m <sup>2</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup> (40 °C)	Viscosidad Kg/m*s (40 °C)	Tiempo minutos	Caudal m <sup>3</sup> /s	Velocidad m/s	Número de Reynolds	Régimen observado	Régimen calculado
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.444	3.750X10 <sup>-6</sup>	0.097	1,038.13	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.227	7.320X10 <sup>-6</sup>	0.190	2,027.35	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.219	7.581X10 <sup>-6</sup>	0.197	2,099.68	Laminar	Laminar
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.163	1.022X10 <sup>-5</sup>	0.266	2,831.48	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.157	1.055X10 <sup>-5</sup>	0.276	2,924.02	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.157	1.060X10 <sup>-5</sup>	0.274	2,936.78	Transición	Transición
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.115	1.447X10 <sup>-5</sup>	0.376	4,007.89	Turbulento	Turbulento
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.082	2.016X10 <sup>-5</sup>	0.525	5,584.25	Turbulento	Turbulento
0.007	3.84x10 <sup>-5</sup>	992.25	0.000653	0.058	2.849X10 <sup>-5</sup>	0.741	7,891.35	Turbulento	Turbulento

Los cálculos obtenidos a través de la fórmula del Número de Reynolds están dentro del margen de los regímenes observados en el equipo de Flujo de Fluidos de Reynolds, se tomaron datos a diferentes temperaturas confirmándose así el correcto funcionamiento del equipo.

## CONCLUSIONES

El equipo de Osborne Reynolds diseñado y construido en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Químicas de la UJED, muestra la

posibilidad de hacer prácticas demostrativas del flujo de fluidos para las diferentes asignaturas necesarias en el programa de la carrera de Ingeniero Químico en Alimentos. Los cálculos obtenidos a través de la fórmula del Número de Reynolds están dentro del margen de los regímenes observados en el equipo de Flujo de Fluidos de Reynolds, se tomaron datos a diferentes temperaturas confirmándose así el correcto funcionamiento del equipo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Díaz J. 2006, Mecánica de los fluidos e hidráulica, Editorial Universidad del Valle, Primera Edición, Colombia. pp. 9-11,
- Duarte C. 2004. Introducción a la mecánica de fluidos Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Colombia, pp. 13.
- Fernández L. 2009, Guía de laboratorio mecánica de fluidos, Universidad de los Andes, Escuela Civil, Departamento de hidráulica y sanitaria, Venezuela, pp. 20.
- Gallegos Á. 2011, Programa para el cálculo de tuberías y bombas centrífugas en procesos de refinación, Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, Universidad del ISTMO Campus Tehuantepec, Oaxaca pp. 9, 29.
- Galván A. 2011, Metodología y criterios de ingeniería para la selección e instalación de sistemas hidroneumáticos de aplicación residencial, Tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco, México D.F., pp. 23, 34.
- García A. 2006, Hidráulica prácticas de laboratorio, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España pp. 71.
- Geankoplis C. 1986., Procesos de transporte y operaciones unitarias, Editorial Continental, Primera edición, México, pp. 71.
- McCabe W. 2007, Operaciones unitarias en ingeniería química, Editorial Mc Graw Hill, Séptima edición, México D.F., pp. 33, 37, 148.
- Universidad de Alicante 2011, Mecánica de fluidos, Flujo interno de fluidos incomprensibles y comprensibles, España, pp. 46.