

Simuladores como herramientas educativas en la comprensión de lechos fluidizados

Simulators as educational tools in understanding fluidized beds

Elizabeth Lander Hernández^{1*}, María Gabriela Vilorio Carrasco², Miguel Manuel Pérez Hernández²

¹Universidad Metropolitana, Facultad de Ciencias, Venezuela

²Universidad Metropolitana, Facultad de Ingeniería, Venezuela

Fecha de recepción: 16 de octubre de 2024. **Fecha de aceptación:** 24 de marzo de 2025.

***Autor de correspondencia:** elander@unimet.edu.ve

Resumen. El uso de simuladores permite modelar procesos reales, facilitando el estudio del comportamiento de estos ante la modificación de sus variables. A su vez, los simuladores funcionan como herramientas complementarias en los estudios de ingeniería, contribuyendo a una mejor interpretación de los fenómenos observados. Este trabajo tiene como objetivo realizar una simulación que represente el comportamiento del lecho de una columna de fluidización presente en el Laboratorio de Procesos de Separación de la Universidad Metropolitana en Caracas, Venezuela, utilizando el programa MATLAB App Designer®. La simulación desarrollada permitió determinar variables críticas como la velocidad mínima de fluidización, la porosidad del lecho, el número de Reynolds, la velocidad media y la caída de presión mínima. Los resultados muestran que la fluidización es del tipo particulada, con una velocidad mínima de fluidización de 0,002422 m/s y un número de Froude de 0,0001612. Además, los hallazgos indican que el uso de simuladores mejora la comprensión teórica y práctica del fenómeno de fluidización, fomentando la motivación y el interés de los estudiantes en el aprendizaje de ingeniería. Este enfoque no solo prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos en su campo profesional, sino que también resalta la importancia de integrar simuladores en la educación científica.

Palabras clave. Aprendizaje práctico, educación en ingeniería, fluidización, simuladores.

Abstract. The use of simulators allows real processes to be modeled, facilitating the study of their behavior when their variables are modified. At the same time, simulators function as complementary tools in engineering studies, contributing to a better interpretation of the observed phenomena. This work aims to carry out a simulation that represents the behavior of the bed of a fluidization column present in the Separation Processes Laboratory of the Universidad Metropolitana in Caracas, Venezuela, using the MATLAB App Designer® program. The simulation developed allowed the determination of critical variables such as the minimum fluidization velocity, bed porosity, Reynolds number, average velocity and minimum pressure drop. The results show that the fluidization is of the particulate type, with a minimum fluidization velocity of 0,002422 m/s and a Froude number of 0,0001612. Furthermore, the findings indicate that the use of simulators improves the theoretical and practical understanding of the fluidization phenomenon, fostering students' motivation and interest in engineering learning. This approach not only prepares students to face challenges in their professional field, but also highlights the importance of integrating simulators into science education.

Keywords. Practical learning, engineering education, fluidization, simulators

1. Introducción

El estudio de la fluidización de un lecho es importante para comprender su aplicabilidad en la industria en procesos de secado, clasificadores, reactores y procesos de lixiviación, siendo bastante comunes en sectores metalúrgicos, químicos, farmacéuticos, de petróleo y gas.

De esta forma, existen distintas técnicas y herramientas para poder comprender dicho proceso abarcando métodos numéricos, experimentación, hojas de cálculo (Microsoft EXCEL®) y diseño de aplicaciones que permitan simular dicho proceso (MATLAB App Designer®).

La creación de una aplicación que permita simular el comportamiento teórico de un proceso ayuda a la comprensión de su funcionamiento según la bibliografía y en condiciones ideales, además posibilita la comparación del comportamiento teórico con el real obtenido mediante la experimentación; dando pie a la discusión de los resultados obtenidos y la respectiva explicación del por qué estos ocurren, en conjunto con la búsqueda de soluciones, alternativas y recomendaciones en caso de haber discordancias entre ambos resultados.

En este sentido, el presente estudio comprende el estudio del comportamiento tanto teórico como experimental del lecho fluidizado del Laboratorio de Procesos de Separación de la Universidad Metropolitana, compuesto por un lecho de partículas de Nylon 66 con un flujo de agua a través de ellos, estudiando variables que abarcan su caída de presión, su velocidad mínima de fluidización, el tipo de fluidización mostrada y demás resultados de interés, mediante la realización de una simulación que represente el comportamiento del lecho mencionado y utilizando el programa MATLAB App Designer®, de modo que se logre:

- Determinar la velocidad mínima de fluidización para el caso de estudio presentado, así como la altura mínima del lecho fluidizado y la respectiva caída de presión (empleando la Ecuación de Ergun).
- Determinar el tipo de fluidización que es llevado a cabo mediante el cálculo del número de Froude.
- Comparar los valores experimentales obtenidos con respecto al comportamiento teórico y los resultados alcanzados con la simulación.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Simuladores

Los simuladores son herramientas que permiten diseñar y desarrollar un modelo computarizado que permiten entender el comportamiento y las estrategias con las que se puede operar un sistema y/o proceso [1].

Asimismo, el uso de simuladores permite involucrar al estudiante en el aprendizaje ya que él es quien se encarga de manejar el simulador, observar y analizar los resultados obtenidos. De igual modo, permiten resolver la carencia de experiencia en el fenómeno de estudio que las teorías científicas buscan explicar [2].

2.2 Fluidización

La fluidización es aquel proceso en el que partículas sólidas de reducido tamaño se mantienen en suspensión como efecto de una corriente de fluido ascendente, el cual puede estar presente como un líquido o como un gas [3].

El movimiento de dichas partículas al ser suspendidas por el flujo ascendente de un fluido varía en función del tipo de fluido, la intensidad del caudal que presente, y el diseño de la columna de fluidización (largos y estrechos). Cuando la fluidización se esté llevando a cabo con gas como fluido, apareciendo burbujas que se mueven entre las partículas, creciendo dichas burbujas a medida que ascienden por el lecho. El fenómeno en sí es conocido como *slugging* y las burbujas como *Slugs* [4].

2.3 Esfericidad

La esfericidad es la relación existente entre la superficie que podría tener una esfera con el mismo volumen de la partícula que se esté estudiando y la superficie real de esta.

2.4 Porosidad

La Porosidad es una medida que permite determinar los espacios vacíos de un material y cómo estos permiten el flujo de un fluido a través de ellos.

En este sentido, es válido mencionar que la Porosidad de un material es un valor que se obtiene tras la medición de la capacidad que tiene este de almacenar fluidos [5].

Asimismo, existen distintas expresiones que permiten cuantificar el valor de la porosidad según la definición que se esté empleando (porosidad absoluta, efectiva y no efectiva); no obstante, la más usada es aquella que define la relación entre el volumen del poro entre el volumen total del material.

Sin embargo, cuando se está estudiando un lecho fluidizado, la Porosidad se puede evaluar según el tipo de fluidización que esté tomando lugar.

2.5 Caída de presión

Resulta importante destacar que cuando un fluido o gas se mueve a bajas velocidades a través de un lecho poroso de partículas (tal como el caso de un lecho empacado), este es incapaz de producir un movimiento de dichas partículas. Este suceso tiene como explicación principal la pérdida de energía a medida que el fluido atraviesa los canales diminutos del lecho a fluidizar, causando así una disminución en la presión.

En este sentido, una expresión comúnmente utilizada para poder cuantificar esta caída de presión es la ecuación de Ergun, que en su formato original describe la región de flujo laminar y de transición; no obstante, existen distintas adaptaciones de la ecuación de Ergun que admiten cualquier valor de Reynolds.

2.6 Velocidad mínima de fluidización

La velocidad mínima de fluidización es aquella velocidad que se requiere para alcanzar el punto en el que el fluido comienza a suspender sus partículas (fluidización mínima). Además, a partir de que se alcanza la velocidad mínima de fluidización la altura del lecho irá incrementando a medida que este se va fluidizando.

2.7 Lechos rellenos con partículas de distinto tamaño

Cuando se aumenta la velocidad de fluidización en un lecho de partículas, suelen ocurrir distintos cambios. Las partículas de menor tamaño pueden deslizarse entre los espacios dejados por las partículas de mayor tamaño, adquiriendo un comportamiento similar al de un fluido, mientras que las partículas de mayor tamaño permanecen relativamente inmóviles.

Dicho proceso se llama “fluidización parcial del lecho” y se manifiesta como una caída de presión intermedia. A medida que se sigue aumentando la velocidad de fluidización, la caída de presión se acerca al valor de W/A , indicando que todo el lecho está completamente fluidizado.

2.8 Número de Froude

Al estudiar el comportamiento de un lecho fluidizado y los distintos tipos de fluidización que toman lugar durante la experimentación, es importante tomar en cuenta que esto varía principalmente por la relación de densidades entre las partículas sólidas que conforman al lecho y la corriente de fluido que las va a suspender. De esta forma, el tipo de fluidización se puede determinar mediante el cálculo del número de Froude.

2.9 Ecuación de Wen y Yu

La ecuación de Wen y Yu, propuesta en 1966, se emplea para determinar la velocidad mínima de fluidización en un lecho de partículas. Esta velocidad corresponde al punto en el que las partículas comienzan a elevarse y el lecho adquiere un estado fluido.

3. Metodología

3.1 Información técnica del equipo

La tabla 1 muestra los parámetros físicos que deben ser considerados durante la experimentación, necesarios para los cálculos posteriores:

Tabla 1. Información de la torre de fluidización presente en el Laboratorio de Procesos de Separación de la Universidad Metropolitana

Dimensiones	Valor	Unidad
Diámetro promedio de las partículas	0.00371	m
Diámetro de la torre	0.1524	m
Densidad del Nylon 66	1140	kg/m ³
Porosidad inicial del lecho (ϵ_0)	0.419	-

3.2 Descripción del equipo

La torre de fluidización presente en el Laboratorio de Procesos de Separación de la Universidad Metropolitana está compuesta por una columna con un lecho empacado de partículas irregulares y poco esféricas de Nylon 66. Esta columna se conecta a un tanque de agua y a una bomba que impulsa el agua hacia la torre.

El fluido ingresa por el fondo de la torre a través de dos tuberías y se expulsa por el tope. El sistema cuenta con sensores digitales para medir la presión en el tope y en el fondo de la torre, y un sensor de caudal en la tubería de entrada en el fondo.

Se utilizan dos manómetros de mercurio para observar las diferencias de presión y, mediante cálculos matemáticos, determinar el caudal manualmente y compararlo con el valor proporcionado por el sensor digital de caudal. Además, se dispone de una cinta métrica para medir la altura del lecho en la torre después de abrir la válvula de entrada del líquido.

Con base a lo anterior, el equipo consta de:

- Lecho: compuesto por partículas de Nylon 66 con un diámetro promedio de 0,371 cm
- Torre de vidrio: a través del cual fluirá el agua, provocando la fluidización (suspensión) del lecho
- Tanque: el cual debe estar lleno al menos hasta la mitad con agua
- Arduino: el cual se conecta a la computadora mediante un cable USB y permite el registro de datos mediante Microsoft Data Streamer
- Manómetros de Mercurio: que permiten la medición de las presiones de entrada y salida en mmHg.

Asimismo, el sistema cuenta con dos sensores de presión digitales que permiten la medición de las presiones de entrada y salida en psi. Además, a un lado de la torre de vidrio (y en frente del lecho) se encuentra una regla que permite la medición de la altura del lecho durante la experimentación.

3.3 Pasos para la Experimentación

Para poder llevar a cabo la práctica fue necesario seguir los siguientes pasos:

- El Arduino del equipo fue conectado a una laptop o PC mediante el cable USB que poseía.
- Microsoft EXCEL® fue abierto, se habilitó Microsoft Data Streamer y se activó el Arduino. Este último permitió el registro de los valores de presión de entrada y salida (psi) y caudal (L/min).
- La altura inicial del lecho fue medida y las presiones de entrada y salida fueron medidas utilizando los manómetros de mercurio (lectura medida en mmHg).
- Se aseguró de que el tanque estuviera lleno con agua al menos hasta la mitad. En caso de que su nivel de agua fuera inferior, se procedió a llenarlo.
- La bomba fue encendida y el caudal de agua que entraba a la torre fue regulado para permitir un flujo mínimo.
- El caudal fue regulado hasta que el lecho comenzó a elevarse por efectos del fluido. Esto se hizo poco a poco y con mucho cuidado para evitar errores y poder tomar mediciones acertadas y precisas.
- Cada vez que se aumentaba el caudal, se medía la altura del lecho y las presiones utilizando el manómetro de mercurio. Estas presiones medidas manualmente fueron comparadas con las medidas digitales tomadas por el Arduino.
- Se repitieron los pasos 6 y 7 aumentando siempre el caudal hasta llegar al máximo de la válvula. Luego de esto, se procedió a disminuir gradualmente el caudal hasta que se cerró el paso, tomando mediciones mientras esto ocurría.

4. Resultados y discusión

4.1 Resultados obtenidos experimentalmente

El procedimiento experimental fue realizado por seis grupos diferentes durante los trimestres de enero-marzo 2023 (identificados como JG y JG2), abril-julio 2023 (identificados como JG3 y JG4), y septiembre-diciembre 2023 (identificados como JG5 y JG6) con el objetivo de estudiar el comportamiento de la torre de fluidización en el Laboratorio de Procesos de Separación de la Universidad Metropolitana. Las principales variables evaluadas fueron la velocidad superficial, la caída de presión, la porosidad y la altura promedio del lecho. Para los cálculos de interés, se determinó la velocidad mínima de fluidización, la velocidad media, el número de Reynolds para las partículas en el lecho y el número de Froude, con el fin de identificar el tipo de fluidización.

Tras recopilar los datos experimentales correspondientes, se determinó que la velocidad mínima de fluidización teórica era de $2,43\text{E-}03$ m/s. Los pequeños valores de velocidad superficial reportados durante las prácticas se debieron a la obstrucción del lecho, que impidió el paso del fluido hasta

alcanzar la fluidización. Esto se atribuye a que el Nylon 66 tiene una mayor densidad, lo que genera un aumento del caudal de agua necesario para lograr la movilidad de las partículas del lecho.

A partir de los datos de caída de presión obtenidos mediante la lectura del manómetro y los resultados del cálculo de la velocidad superficial, se elaboró el gráfico correspondiente para cada experimento realizado (figura 1).

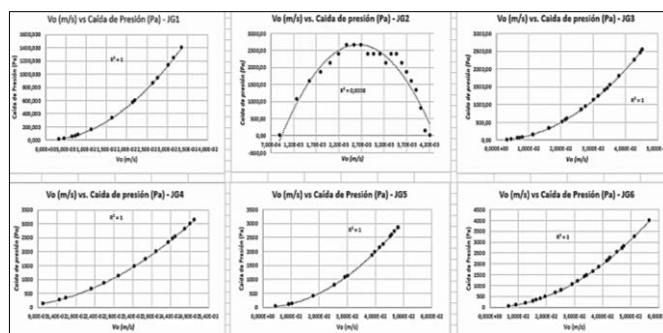


Figura 1. Gráficas de Caída de presión vs Velocidad superficial del agua.

De acuerdo con [6], aumenta la caída de presión a medida que aumenta la velocidad superficial del fluido utilizado manteniendo el lecho a una altura invariable hasta alcanzar la velocidad mínima de fluidización, punto en el cual la caída de presión permanece constante a pesar del incremento del flujo.

Al evaluar la representación gráfica de la relación entre la caída de presión y la velocidad superficial del fluido, se evidencia un crecimiento de tipo exponencial, demostrando que la caída de presión sigue aumentando continuamente con el incremento de la velocidad.

No obstante, esto contradice el comportamiento explicado por [6] ya que no se alcanza una caída de presión constante después de llegar a la velocidad mínima de fluidización. Esto puede deberse a que, a medida que aumentaba el flujo, se dificulta la lectura de la presión en el manómetro, provocando errores de lectura.

Por otro lado, al evaluar los resultados obtenidos por el grupo 2 (JG2), se observa que se alcanzó una velocidad mínima de fluidización cercana a la teórica. Además, se demostró que, tras alcanzar la velocidad mínima de fluidización, la caída de presión permanece constante a medida que incrementa el flujo. Esto respalda lo explicado por [6], indicando que la torre de fluidización ubicada en el Laboratorio de Procesos de Separación presenta el comportamiento teóricamente esperado.

Conocida la porosidad inicial y la altura mínima del lecho, se calculó la porosidad de este considerando la altura promedio determinada por el procedimiento experimental. Así, se elaboró el gráfico correspondiente a la relación de la velocidad mínima de fluidización con la porosidad para cada experimento realizado (figura 2).

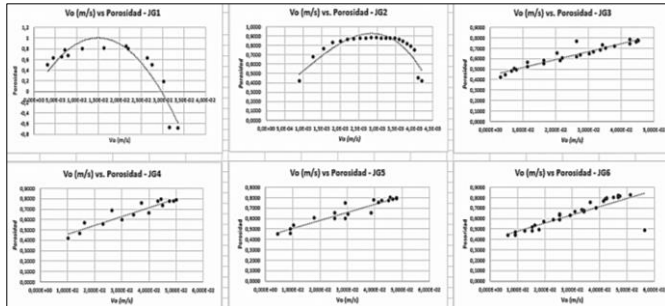


Figura 2. Gráficas de Porosidad del lecho vs Velocidad superficial del agua.

Al analizar las gráficas correspondientes a cada equipo, se evidenció que, en su mayoría, a medida que incrementa la velocidad superficial aumentaba la porosidad, indicando que mantienen una relación directamente proporcional entre sí.

Esto se debe a que a medida que incrementa el flujo hay mayor separación entre las partículas que forman el lecho, aumentando el tamaño de los espacios vacíos por los que pasa el fluido y de forma consecuente incrementa la porosidad del lecho.

Paralelamente, al estudiar el comportamiento de la porosidad presentada por los equipos JG1 y JG2 no se evidencia el crecimiento proporcional de la porosidad en función de la velocidad superficial del fluido. Esto pudo ser causado por errores experimentales durante la ejecución de la práctica.

El comportamiento lineal que se observa para las gráficas presentadas por los equipos JG3, JG4, JG5 y JG6, posee un coeficiente de correlación (R^2) superior a 0.8 y cercano a 0.9 indicando que la línea de tendencia seleccionada se ajusta adecuadamente a los valores y cálculos experimentales realizados.

Por otra parte, tras determinar experimentalmente la altura del lecho y determinar su respectivo promedio se procedió a realizar su representación gráfica para cada práctica realizada (Figura 3).

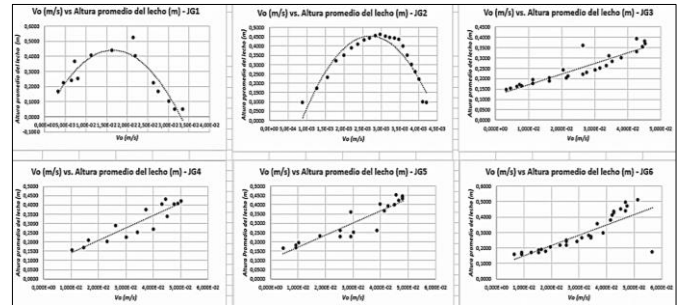


Figura 3. Gráficas de Altura promedio del lecho vs velocidad superficial del agua.

De acuerdo con [6], la expansión del lecho ocurre a medida que se incrementa la velocidad del flujo. Se observa que las gráficas correspondientes a los grupos JG3, JG4, JG5 y JG6 presentan un comportamiento lineal muy cercano al teórico reportado, demostrando que existe una relación directamente proporcional entre la altura del lecho y la velocidad superficial del fluido.

Al evaluar los puntos iniciales de dichas gráficas se observa que estos presentan muy poca o nula variación con respecto a la altura del lecho, esto se debe a que a bajas velocidades la altura del lecho permanece constante hasta alcanzar la velocidad mínima de fluidización.

Por otra parte, al estudiar las gráficas reportadas por los grupos JG1 y JG2 se evidencia una alta discrepancia con respecto al gráfico teórico. Esto puede ser consecuencia de errores al momento de llevar a cabo la práctica, tales como cerrar la válvula luego de aumentar la velocidad del fluido o leer incorrectamente la altura del lecho tras alcanzar un flujo constante.

A partir del fluido empleado (agua) se infiere que el proceso de fluidización realizado es del tipo particulada; es decir, se presenta un movimiento más vigoroso a medida que se incrementa el flujo y hay mayor separación entre las partículas del lecho. Esto se encuentra respaldado por el número de Froude calculado, el cual es igual a $1,62E-04$, ya que al ser menor a 1 indica que se trata de una fluidización particulada.

Finalmente, se procedió a graficar la relación entre la velocidad de fluidización promedio entre las distintas mediciones realizadas con la caída de presión promedio (en Pa) y la altura del lecho (en m). Así, en la figura 4 se evidencia el incremento en la caída de presión al aumentar la velocidad superficial del gas a través de un lecho de partículas inicialmente empaquetado.

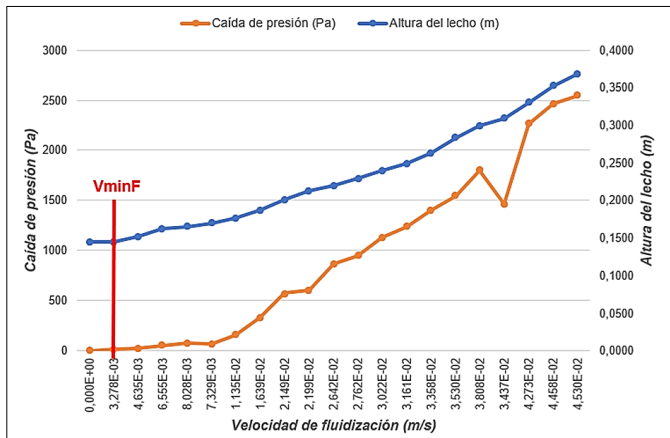


Figura 4. Relación de la velocidad de fluidización promedio (m/s) con la caída de presión (Pa) y la altura del lecho fluidizado (m).

Así, tomando en cuenta el promedio de las 6 mediciones, se obtiene una velocidad mínima de fluidización de aproximadamente 3,278E-03 m/s, siendo esta la velocidad mínima requerida para que el lecho comience a fluidizarse, siendo la fuerza de arrastre sobre las partículas igual al peso de estas. mínima de fluidización.

4.2 Resultados de la simulación

Conociendo los modelos teóricos mediante los cuales se estarían realizando los cálculos pertinentes a partir de los datos obtenidos experimentalmente, se procedió primeramente al diseño de un borrador del código en MATLAB® para asegurar que los cálculos sean correctos y los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos tras realizar los cálculos en Microsoft EXCEL®.

En este sentido, dicho código le permite al usuario ingresar valores experimentales de caudal y lecho fijo, obteniendo luego valores de área de la columna, porosidad del lecho, velocidad de entrada a la torre de fluidización, velocidad media de fluidización, número de Reynolds, porosidad mínima de fluidización, número de Arquímedes, número de Reynolds para la fluidización mínima, velocidad mínima de fluidización, caída de presión en el punto mínimo de fluidización, altura mínima del lecho fluidizado y número de Froude.

Posteriormente, se procedió al diseño de la aplicación empleando el programa MATLAB App Designer®, donde primeramente se realizó el diseño de la interfaz y luego se ajustó de forma tal que sea una aplicación funcional donde el usuario pueda ingresar datos y obtener resultados tanto numéricos como gráficos (figura 5).



Figura 5. Interfaz de la aplicación que simula el lecho fluidizado.

Donde se le permite al usuario ingresar valores de caudal y lecho fijo, manteniéndose fijos valores como las propiedades de las partículas que conforman el lecho; obteniendo finalmente valores de caída de presión (en kPa), velocidad de entrada de agua (m/s), velocidad mínima de fluidización (m/s), número de Reynolds, número de Froude y el tipo de fluidización, caída de presión mínima (en kPa) y altura mínima del lecho (m).

Con respecto a las gráficas obtenidas en MATLAB® mediante la simulación, se obtuvieron comportamientos similares a los obtenidos experimentalmente y que son corroborados por la teoría previamente mencionada.

Análogamente, se tomaron los resultados obtenidos por la simulación y se compararon con los resultados obtenidos experimentalmente (tabla 2).

Tabla 2. Resultados obtenidos experimentalmente

ΔP_{min} (kPa)	Número de Froude	Tipo de fluidización	Vmin (m/s)
33.63	1.624E-4	Particulada	2.431E-3

Tal que estos coinciden casi por completo con los obtenidos mediante la simulación (tabla 3).

Tabla 3. Resultados obtenidos mediante la simulación en MATLAB®

ΔP_{min} (kPa)	Número de Froude	Tipo de fluidización	Vmin (m/s)
33.51	1.612E-4	Particulada	2.422E-3

En este sentido, se calculó el porcentaje de error entre los resultados obtenidos, considerando los valores generados a través de la simulación como resultados teóricos de referencia (tabla 4).

Tabla 4. Porcentajes de error de los valores obtenidos experimentalmente

$\Delta P_{\min}$ (kPa)	Número de Froude	$V_{\min}$ (m/s)
0.36%	0.74%	0.39%

Las menores diferencias observadas pueden atribuirse a la precisión de los decimales y a la cantidad de cifras significativas utilizadas por ambos programas. A pesar de estas variaciones, los resultados son lo suficientemente cercanos como para validar que los modelos matemáticos aplicados en la simulación y su respectiva programación son precisos y congruentes con los resultados obtenidos en EXCEL®. Esto respalda la efectividad de los enfoques utilizados y confirma la fiabilidad de los resultados de la práctica de fluidización realizada en el Laboratorio de Procesos de la Universidad Metropolitana.

Por otro lado, tomando el modelo matemático establecido por [7] y utilizando la ecuación 10 para calcular la velocidad mínima de fluidización y posteriormente calculando el número de Froude se obtienen los siguientes resultados mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados obtenidos mediante el modelo matemático de Wen y Yu

Número de Froude	Tipo de fluidización	$V_{\min}$ (m/s)
0.003421	Particulada	0.001116

Obteniendo valores numéricamente distintos a los obtenidos con los modelos matemáticos empleados anteriormente, pero obteniendo el mismo tipo de fluidización llevada a cabo experimentalmente al obtener un número de Froude menor a 1.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que el tipo de fluidización es particulada, con una velocidad mínima de fluidización de 0,002422 m/s y un número de Froude de 0,0001612.

El estudio demuestra que los simuladores son herramientas efectivas en la enseñanza de la fluidización, permitiendo a los estudiantes experimentar de manera virtual con diferentes parámetros del sistema. Esto facilita una comprensión más profunda de fenómenos complejos que serían difíciles de abarcar sólo a través de enfoques teóricos.

La integración de simuladores en el currículo académico aumenta la motivación y el interés de los estudiantes en la materia. Los resultados del estudio indican que los alumnos se sienten más comprometidos y dispuestos a explorar conceptos relacionados con la fluidización a medida que manejan el simulador y comparan sus resultados con datos experimentales.

Este enfoque no solo mejora la comprensión teórica, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en el campo de la ingeniería al potenciar las habilidades analíticas y prácticas en los distintos procesos empleados en el sector industrial. La experiencia práctica adquirida a través del uso de simuladores los dota de competencias valiosas que son altamente relevantes en su futura vida profesional.

Se recomienda la incorporación sistemática de simuladores en los programas de educación en ingeniería, junto con metodologías tradicionales. Dado su potencial para enriquecer el aprendizaje y facilitar la transferencia de conocimiento, los simuladores deben ser considerados como complementos esenciales en la formación académica de los estudiantes.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] M. García-González, E. González-Trejo, G. Pedroza-Cantú, "El uso de simuladores como herramienta de apoyo para la enseñanza de la Estrategia de Negocios en la Educación Superior", 2018, http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Vinculategica_4/48%20GARCIA_GONZALEZ_PEDROZA.pdf
- [2] G. Contreras, A. Carreño, "Simuladores en el ámbito educativo: un recurso didáctico para la enseñanza", 2012, <https://dialnt.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5038479>
- [3] Consejo Superior de Investigaciones Científicas, "Fluidización de las partículas sólidas y sus aplicaciones", 1956.
- [4] A. De Prada, "Estudio de la aglomeración de partículas en un lecho fluidizado", 2014, <https://core.ac.uk/download/pdf/44310631.pdf>
- [5] C. Geankoplis, "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", 3era edición, Editora Continental, México, 1998.
- [6] W. Mc Cabe, J. Smith, y P. Harriot, "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", España: McGraw-Hill, 1991, <https://ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com/2011/05/operaciones-unitarias-a.pdf>
- [7] C. Wen, y Y. Yu, "A Generalized Method for Predicting the Minimum Fluidization Velocity," AIChE Journal, Vol. 12, pp. 610–612, 1966, <https://doi.org/10.1002/aic.690120343>