

Licenciatura: Ingeniería Mecánica.

Nombre del Proyecto de Integración (PI): Diseño de un banco experimental para el análisis de la Inestabilidad de *Rayleigh-Taylor* con potenciales aplicaciones en estudio de fenómenos sísmicos.



Modalidad: Proyecto de Investigación.

Versión: Primera.

Trimestre Lectivo: 24-P

Datos del alumno:

Nombre completo: García Suárez Pedro David.

Matrícula: 2203032680

Correo electrónico: al2203032680@azc.uam.mx

Datos del asesor:

Nombre: M en C. Carlos Alejandro Vargas

Categoría: Titular.

Departamento de adscripción: Ciencias Básicas

Teléfono: 55 2325 5918

Correo electrónico: cvargas@azc.uam.mx

Datos del co-asesor.:

Nombre: Dr. Franklin Wladimir Peña Polo

Categoría: Asociado D

Departamento de adscripción: Ciencias Básicas

Teléfono: 55 4617 8453

Correo electrónico: fwpp@azc.uam.mx

Datos del co-asesor:

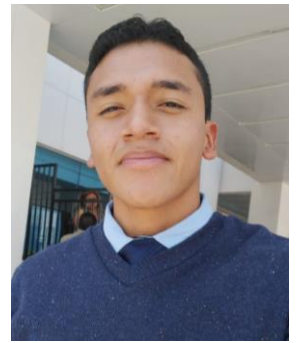
Nombre: Dr. Valeriano Salomón Álvarez Salazar

Categoría: Externo

Departamento de adscripción: Externo

Teléfono: 55 1869 0266

Correo electrónico: salomonalvarez490@gmail.com



Firma.

Firma.

Firma.

Firma.

Fecha: 06/09/2024

En caso que el comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos la autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

García Suárez Pedro David.

M en C. Carlos Alejandro Vargas

Dr. Franklin Wladimir Peña Polo

Dr. Valeriano Salomón Álvarez Salazar

1. Introducción.

En mecánica de fluidos, existen una amplia variedad de fenómenos de inestabilidad [1, 2]. Estos fenómenos pueden manifestarse siempre que se cumplan ciertas condiciones [3]. En particular, para esta investigación se estudiará la inestabilidad de Rayleigh-Taylor, un fenómeno físico que ocurre cuando dos fluidos inmiscibles están en contacto. Este fenómeno se presenta cuando un líquido de mayor densidad se encuentra por encima de otro de menor densidad. En la interface entre ambos fluidos, el líquido de menor densidad empuja hacia arriba al de mayor densidad, mientras que el de mayor densidad empuja hacia abajo al de menor densidad. Como resultado, se forman estructuras filamentosas conocidas como "fingers" o "dedos" en español.

En la naturaleza, dicho fenómeno se puede hacer presente de manera espontánea en una amplia cantidad de eventos. Un volumen de agua salada situada sobre un volumen de agua dulce es un ejemplo sencillo de una larga lista de fenómenos naturales y procesos industriales en los que se produce esta inestabilidad [4, 5].

En el ámbito de la ingeniería, la inestabilidad de *Rayleigh-Taylor* se aplica a la geodinámica. Uno de los problemas aun sin explicación es la aparición de extensión en regiones sometidas a convergencia en los mecanismos de rejuvenecimiento litosférico [6, 7]. El adelgazamiento convectivo simétrico, el cual se manifiesta al engrosarse la litósfera continental bajo convergencia y formar un orógeno, el denso manto litosférico puede dar lugar a una inestabilidad de Rayleigh-Taylor. Esta perturbación provoca que el manto se desprenda y se hunda en la astenosfera. Como resultado, el orógeno pierde su "raíz" litosférica, dejando una corteza engrosada y un manto litosférico adelgazado.

El objetivo de este proyecto es poder cuantificar la evolución de la inestabilidad de Rayleigh-Taylor, mediante el uso de un mecanismo innovador a escala de laboratorio. En donde en condiciones isobáricas mediante campos magnéticos se sustentará a un ferro fluido de mayor densidad por encima de uno de menor densidad, ambos contenidos en una celda de Hele-Shaw, permitiendo de esta manera capturar en video la evolución de dicho fenómeno con un mejor control en sus condiciones iniciales, para su posterior análisis mediante técnicas de análisis de imágenes.

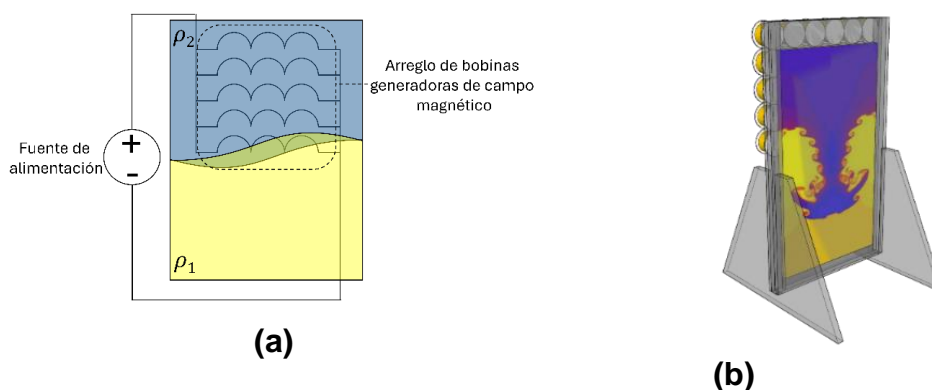



Figura 1. (a) Diagrama esquemático del montaje experimental. Fuente de alimentación que suministra la corriente a las bobinas para la generación del campo magnético. La región azul representa el fluido de mayor densidad y la región amarilla representa al fluido de menor densidad, ambos contenidos en la celda de *Hele-Shaw*. **(b)** Ilustración de la celda de *Hele-Shaw*, conteniendo ambos fluidos durante la evolución de la inestabilidad de *Rayleigh-Taylor*.

2. Antecedentes.

 En 2022, Martín Ortiz y Arturo Cruz de la Escuela Superior Ciudad Sahagún realizaron una práctica de laboratorio sobre un flujo viscoso que desciende bajo la influencia de la fuerza gravitacional, la fuerza de empuje y la fuerza de arrastre para estimar la viscosidad. Se observó que los líquidos experimentan un ligero incremento en su viscosidad con el tiempo, debido principalmente a la oxidación fotoquímica [8]. En esa práctica, se analizaron las viscosidades del agua y la glicerina, tomando estos resultados como guía para futuras experimentaciones.

En 2021, Andrés Óscar Zuluaga Rosas, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, desarrolló un trabajo de grado sobre el comportamiento de las características magnéticas de ferrofluidos a través de curvas de histéresis [9]. Se utilizarán las ecuaciones constitutivas para la permeabilidad, susceptibilidad y permeabilidad magnética, y estos fundamentos serán tomados como guía para nuestro proyecto.

En 2022, Celine Schröter Rojas y Rodrigo Ponce Díaz, del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, realizaron un experimento sobre el comportamiento de líquidos ferromagnéticos y campos magnéticos en función de la temperatura. Descubrieron que la fuerza de atracción se ve afectada al aumentar la temperatura [10]. Este estudio proporcionará una base teórica esencial para nuestro proyecto, que examina lo que ocurre con el fluido ferromagnético cuando se somete a cambios de temperatura.

Con base en estos trabajos, planteamos desarrollar un sistema experimental innovador capaz de realizar un control preciso de las condiciones iniciales del sistema. Hasta la fecha, la mayoría de los estudios sobre inestabilidades de Rayleigh-Taylor son de carácter computacional y la escasa literatura existente sobre trabajos experimentales se limitan principalmente a la deposición de una gota de fluido más denso sobre otro menos denso. En este caso, se propone colocar un volumen considerablemente grande de líquido de mayor densidad sobre uno de menor densidad, con la intención de realizar un análisis más cuantitativo de la evolución del fenómeno y de esta forma poder extrapolar ese comportamiento con mayor precisión a los fenómenos geofísicos.

3. Justificación.

La inestabilidad de *Rayleigh-Taylor* se estudia en la ingeniería de la mecánica fluidos para comprender cómo se mezclan diferentes fluidos con distintas densidades.

Así mismo, la inestabilidad de *Rayleigh-Taylor* ofrece un entorno experimental para estudiar fenómenos no lineales y turbulentos en la dinámica de fluidos, lo que contribuye al desarrollo de modelos matemáticos más precisos y al entendimiento de la física básica de los fluidos.

4. Objetivos.

Objetivo general.

Diseñar y construir un banco experimental para el análisis de la inestabilidad de Rayleigh-Taylor con potenciales aplicaciones en el estudio de fenómenos geotécnicos.

Objetivos particulares.

Construir un par de celdas Hele-Shaw, una de 10 cm x 20 cm y otra de 5 cm x 10 cm de polimetilmetacrilato.

Determinar las características (dimensiones, número de vueltas, tipo de alambre, etc) y construir las bobinas necesarias para la generación del campo apropiado capaz de sostener al ferro fluido.

Elaborar y caracterizar 3 fluidos ferromagnéticos con densidades distintas.

Analizar y procesar las imágenes obtenidas con el uso de cámara de alta velocidad, por medio de los softwares ImageJ y/o MATLAB.

5. Metodología.

Diseño del Arreglo de Electroimanes

Se diseñará un arreglo de electroimanes compuesto por 25 bobinas de alambre de cobre calibre AWG 24, distribuidas en 5 filas y 5 columnas. Estas bobinas serán alimentadas por una fuente de alimentación de 24V y 20A, lo que garantizará la generación de un campo magnético suficientemente fuerte para sostener el ferrofluido.

Preparación de Ferrofluidos

Inicialmente, se prepararán dos tipos distintos de ferrofluidos. Estos serán caracterizados adecuadamente, tomando en cuenta propiedades como viscosidad y densidad. Esta caracterización es esencial para entender cómo interactuarán con el campo magnético y con otros fluidos durante el experimento. También se prepararán y caracterizarán otros ferrofluidos.

Configuración del Experimento

El arreglo de bobinas se colocará en la parte posterior de las celdas de *Hele-Shaw*, las cuales tienen dimensiones de 20 cm de alto, 10 cm de ancho y una profundidad de 0.5 cm; y dimensiones 10 cm de alto, 5 cm de ancho y una profundidad de 0.3 cm. Estas celdas permitirán observar el comportamiento del ferrofluido en un entorno bidimensional controlado.

Generación y Observación del Fenómeno

El campo magnético generado por las bobinas soportará el peso del volumen de ferrofluido, manteniéndolo por encima de un fluido de menor densidad. Posteriormente, se apagará la alimentación de las bobinas, eliminando el campo magnético y permitiendo que el ferrofluido comience a descender debido a la gravedad. Este proceso dará inicio a la generación de la inestabilidad de Rayleigh-Taylor.

Captura y Análisis de Datos

Se grabará en video la evolución del fenómeno desde el momento en que se apaga el campo magnético. La secuencia de imágenes obtenidas será la base para el análisis gráfico. Este video se analizará mediante un software ad hoc desarrollado en ImageJ y/o MATLAB, lo que permitirá una evaluación detallada de la dinámica del ferrofluido durante la inestabilidad.

Comparación y Contribución

Los resultados obtenidos se compararán con las teorías existentes sobre la inestabilidad de Rayleigh-Taylor. Este análisis contribuirá a mejorar la descripción del fenómeno y a una correcta extrapolación de los datos a los fenómenos presentes en el manto litosférico, ampliando así el entendimiento científico en este campo.

6. Normatividad.

La Norma Oficial Estadounidense ASTM E14444/E14444M para pruebas de partículas magnéticas en laboratorios de pruebas, establece los procedimientos para la realización de ensayos con partículas magnéticas que contribuyen en la calidad y seguridad industrial [11].

La Norma Oficial Mexicana NOM-029-ENER-2017 decreta los límites de las fuentes de alimentación externa ya sea con una salida de corriente alterna o continua con una potencia de salida nominal o inferior a 250 watts, también estableciendo las condiciones de prueba para medir la eficiencia energética de la fuente de alimentación externa.

falta incluir una norma

7. Cronograma de actividades.

UEA para la (s) que se solicita (n) autorización.

- Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

	Actividades durante el Trimestre 24-P	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Construir el montaje de la celda Helle – Shaw			X	X	X	X						
3	Fabricación y caracterización de los 3 ferrofluidos, puesta a punto de la experimentación.				X	X							
4	Hacer pruebas con el fluido ferromagnético.						X						
5	Realizar el montaje experimental y pruebas con bobinas eléctricas							X	X	X	X		
6	Capturar preliminarmente imágenes de alta velocidad.										X	X	X
7	Desarrollar software de análisis en Matlab u otros programas.										X	X	X

	Actividades durante el	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

	Trimestre 24-O												
1	Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Desarrollo software de análisis en Matlab u otros programas.	X	X	X									
3	Realizar la puesta a punto del montaje experimental			X	X	X	X						
4	Capturar de imágenes de alta velocidad					X	X	X	X				
5	Realizar el procesamiento en Matlab u otros softwares							X	X	X	X		
6	Analizar los resultados.								X	X	X		
7	Realizar Reporte Final del Proyecto de Integración							X	X	X	X	X	X

8. Entregables.



Reporte final.

9. Referencias bibliográficas.

- [1] Batchelor, G.K. (2005) *An introduction to fluid dynamics*. Cambridge:Cambridge University Press.
- [2] E. Lauga, "Instabilities," *Fluid Mechanics: A Very Short Introduction*, 1st ed., Oxford, Oxford Academic, 2022.
- [3] Y. Zhou, "Rayleigh-Taylor and Richtmyer-Meshkov instability induced flow, turbulence, and mixing I," *Phys. Rep.*, vol. 720-722, pp. 1, 2017.
- [4] Y. Zhou, "Rayleigh-Taylor and Richtmyer-Meshkov instability induced flow, turbulence, and mixing II," *Phys. Rep.*, vol. 723-725, pp. 1, 2017.
- [5] P. Molnar and G. Houseman, "The effects of buoyant crust on the gravitational," *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, B03410, 2004, doi: 10.1029/2003JB002414.
- [6] Molnar, P. y G. Houseman (2004): "The effects of buoyant crust on the gravitational", *Journal of Geophysical Research*, 109, B03410, doi: 10.1029/2003JB002414.
- [7] G. Houseman and P. Molnar, "Mechanisms of lithospheric rejuvenation associated with continental orogeny," in *Continental Reactivation and Reworking*, J.A. Miller, R.E.

Holdsworth, I.S. Buick, and M. Hand, Eds., London, Geological Society, Special Publications, vol. 184, pp. 13-38, 2001.



- [8] Domínguez Ortiz, M y Avilés Cruz A., 2022, "Viscosidad de un fluido", Practica de laboratorio, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Zuluaga Rosas, Oscar. A., 2021, "Estudio de las características magnéticas de ferrofluidos a través de curvas de histéresis", Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas [En línea] Disponible: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/29642> [Accedido:20/07/2024]
- [9] Zuluaga Rosas, Oscar. A., 2021, "Estudio de las características magnéticas de ferrofluidos a través de curvas de histéresis", Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas [En línea] Disponible: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/29642> [Accedido:20/07/2024]
- [10] Schröter, R. C., y Ponce, D. R., 2022, "Comportamiento de la atracción entre un líquido ferromagnético y un campo magnético dependiendo de la temperatura del líquido", Trabajo de Investigación, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey [En línea] Disponible: <https://www.uned.es/universidad/dam/facultades/industriales/RIBIM/V26N1Abril2022/V26N1Ab20200-A02.pdf>
- [11] "ASTM E1444/E1444M-16 Standard Practice for Magnetic Particle Testing." CYPMA. Accessed August 2, 2024. <https://cypma.mx/servicios/astm-e1444/>
- [12] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos para la protección de la vida silvestre en su hábitat natural," Diario Oficial de la Federación, México, pp. 1-3, oct. 27, 2017.

10. Terminología.



Ad hoc: para referirse a lo que se dice o hace solo para un fin determinado.

Celda de Hele-Shaw: dispositivo experimental utilizado en dinámica de fluidos para estudiar el comportamiento de fluidos en un entorno bidimensional y se caracteriza por que su ancho y su alto son muy grandes con relación a su profundidad.

11. Infraestructura.



Laboratorio de Sistemas Complejos W209, avalado por M. en C. Carlos Alejandro Vargas.

12. Asesoría complementaria.

No aplica.

13. Publicación o difusión de los resultados.

Envió de trabajo a la revista electrónica AZCATL, de acceso libre, que pertenece a DCBI de la UAM- Azcapotzalco.