

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE PARA EL  
CURSO DE MODELACIÓN AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD MARIANA DE  
PASTO (NARIÑO, COLOMBIA)  
(Resumen Analítico)**

***DESIGN OF A TEACHING/LEARNING TOOL FOR THE ENVIRONMENTAL  
MODELING COURSE AT UNIVERSIDAD MARIANA IN PASTO (NARIÑO,  
COLOMBIA)  
(Analytical Summary)***

**Autores (*Authors*):** PINZÓN FIGUEREDO Jeimy

**Facultad (*Faculty*):** de INGENIERÍA

**Programa (*Program*):** INGENIERÍA AMBIENTAL

**Asesor (*Support*):** PHD. FRANCISCO JAVIER CAICEDO MESSA

**Fecha de terminación del estudio (*End of the research*):** NOVIEMBRE 2024

**Modalidad de Investigación (*Kind of research*):** Trabajo de Grado

**PALABRAS CLAVE**

ENSEÑANZA/APRENDIZAJE  
MODELACIÓN AMBIENTAL  
REACTORES IDEALES  
HIDRODINÁMICA DE REACTORES  
TRAZADOR AMBIENTAL  
DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA (DTR).

**KEY WORDS**

*TEACHING/LEARNING  
ENVIRONMENTAL MODELING  
IDEAL REACTORS  
REACTOR HYDRODYNAMICS  
ENVIRONMENTAL TRACER  
RESIDENCE TIME DISTRIBUTION (RTD).*

**RESUMEN:** Este proyecto presenta el diseño e implementación de una herramienta de enseñanza/aprendizaje para el curso de Modelación Ambiental en la Universidad

Mariana de Pasto, Colombia. La investigación propone una guía técnica centrada en el análisis hidrodinámico a través de la Distribución de Tiempo de Residencia (DTR) mediante tres tipos de reactores ideales: Reactor de Flujo Pistón (RFP), Reactor de Mezcla Completa (RMC) y Reactor de Mezcla Completa en Serie (RMCS-4). La guía busca complementar el aprendizaje teórico con experiencias prácticas a escala piloto, utilizando metodologías de modelación matemática para validar los sistemas diseñados. Los resultados muestran la aplicabilidad de esta herramienta en la mejora de la comprensión y el análisis crítico de los sistemas hidrodinámicos en ingeniería ambiental.

**ABSTRACT:** *This project presents the design and implementation of a teaching/learning tool for the Environmental Modeling course at Universidad Mariana in Pasto, Colombia. The research proposes a technical guide focused on hydrodynamic analysis through Residence Time Distribution (RTD) using three types of ideal reactors: Plug Flow Reactor (PFR), Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR), and Series of Continuous Stirred Tank Reactors (CSTR-4). The guide aims to complement theoretical learning with practical experiences at a pilot scale, using mathematical modeling methodologies to validate the designed systems. The results demonstrate the applicability of this tool in improving the understanding and critical analysis of hydrodynamic systems in environmental engineering*

**CONCLUSIONES:** Tras el análisis expuesto, respecto a las concentraciones del trazador en RFP se permitió evidenciar una disminución progresiva en las concentraciones de cada muestra, lo que indica una depuración paulatina del sistema. No obstante, después de estabilizar el experimento se observa que el tiempo de retención hidráulico real (TRH) es mayor que el tiempo de retención teórico (TRT), esta diferencia sugiere que el reactor presenta un flujo no ideal atribuido a cortocircuitos y zonas muertas presentes en el reactor que limitan la circulación uniforme del fluido y en consecuencia afectan de manera directa la eficiencia del reactor.

El RMC muestra un comportamiento que se caracteriza por una disminución lenta y progresiva en las concentraciones tras alcanzar el pico máximo, el TRH es mayor al TRT lo que proporciona un tiempo suficiente para la mezcla y la depuración del fluido, no obstante, esta relación también sugiere que el flujo en el reactor no es ideal debido a la presencia de fenómenos no deseados como cortocircuitos y zonas muertas que impidieron una mezcla óptima en el sistema afectando su rendimiento.

El RMCS-4 se destacó como el reactor más eficiente en este estudio al lograr una rápida dispersión del trazador, el TRH se aproxima al TRT, lo que evidencia una reducción significativa de zonas muertas. La menor concentración máxima registrada en este reactor refleja una mayor eficiencia en la depuración total del trazador, mientras que su capacidad para estabilizar rápidamente la concentración demuestra su efectividad en alcanzar una mezcla homogénea. Estos factores consolidan al RMCS-4 como el sistema más eficiente evaluado en este trabajo de

grado.

La presente investigación demuestra que es factible el planteamiento de una guía para la evaluación hidrodinámica de reactores como herramienta didáctica en el curso de modelación ambiental en la Universidad Mariana, destacando la importancia de comprender los principios fundamentales de la hidrodinámica en la modelación ambiental. Los resultados obtenidos en el análisis de los reactores RFP, RMC y RMCS-4 evidencian cómo el modelamiento matemático es clave para predecir y optimizar la eficiencia hidrodinámica de los sistemas, permitiendo identificar áreas de mejora, como la reducción de zonas muertas y la optimización de la distribución del trazador.

**CONCLUSIONS:** *After the analysis presented, regarding the tracer concentrations in the PFR, a progressive decrease in the concentrations of each sample was observed, indicating a gradual purification of the system. However, after stabilizing the experiment, it was noted that the actual hydraulic retention time (HRT) is greater than the theoretical retention time (TRT). This difference suggests that the reactor exhibits non-ideal flow, attributed to short-circuiting and dead zones within the reactor that limit the uniform circulation of the fluid, thereby directly affecting the reactor's efficiency.*

*The CSTR shows a behavior characterized by a slow and progressive decrease in concentrations after reaching the maximum peak. The HRT is greater than the TRT, providing enough time for fluid mixing and purification. However, this relationship also suggests that the flow in the reactor is not ideal due to the presence of undesired phenomena such as short-circuiting and dead zones that hinder optimal mixing, affecting the reactor's performance.*

*The CSTR-4 stood out as the most efficient reactor in this study by achieving a rapid dispersion of the tracer. The HRT approaches the TRT, indicating a significant reduction of dead zones. The lower maximum concentration recorded in this reactor reflects higher efficiency in the complete purification of the tracer, while its ability to stabilize the concentration quickly demonstrates its effectiveness in achieving a homogeneous mixture. These factors establish the CSTR-4 as the most efficient system evaluated in this research.*

*This research demonstrates that the proposal of a guide for the hydrodynamic evaluation of reactors as a teaching tool in the Environmental Modeling course at Universidad Mariana is feasible, highlighting the importance of understanding the fundamental principles of hydrodynamics in environmental modeling. The results obtained from the analysis of the PFR, CSTR, and CSTR-4 reactors show how mathematical modeling is key to predicting and optimizing the hydrodynamic efficiency of systems, enabling the identification of areas for improvement, such as the reduction of dead zones and the optimization of tracer distribution.*

**RECOMENDACIONES:** Se recomienda mejorar el diseño y la agitación de los reactores RFP y RMC para garantizar una mezcla más homogénea y eficiente. A pesar de los buenos resultados, la presencia de zonas muertas y flujos heterogéneos indica que se pueden hacer ajustes para optimizar el tratamiento de trazadores y mejorar el rendimiento general. Aunque los resultados observados son positivos la presencia de zonas muertas y flujos heterogéneos sugieren que los diseños actuales pueden no ser completamente eficientes.

Es importante modificar el diseño de los reactores considerando los resultados TRT y la dinámica de flujo observada. Esto permitirá mejorar la eficiencia en los tratamientos y la reducción de zonas de mezcla ineficiente, lo que contribuye a optimizar el rendimiento de los reactores.

Se sugiere realizar más pruebas con distintas concentraciones de trazador y condiciones iniciales para validar el modelo matemático y evaluar la respuesta de los reactores en diversas situaciones planteadas. Dichas pruebas permitirán validar la capacidad de adaptación del modelo, donde también se involucren el planteamiento de ecuaciones matemáticas que permitan predecir el comportamiento de diferentes fenómenos.

**RECOMMENDATIONS:** *It is recommended to improve the design and agitation of the RFP and RMC reactors to ensure a more homogeneous and efficient mixing. Despite the good results, the presence of dead zones and heterogeneous flows indicates that adjustments can be made to optimize tracer treatment and improve overall performance. Although the observed results are positive, the presence of dead zones and heterogeneous flows suggests that the current designs may not be fully efficient.*

*It is important to modify the reactor design considering the TRT results and the observed flow dynamics. This will help improve efficiency in treatments and reduce areas of inefficient mixing, which contributes to optimizing reactor performance.*

*It is suggested to conduct more tests with different tracer concentrations and initial conditions to validate the mathematical model and assess the reactor's response in various proposed situations. These tests will allow the adaptation capacity of the model to be validated, also involving the development of mathematical equations to predict the behavior of different phenomena.*