

**Licenciatura:** Ingeniería Mecánica.

**Nombre del Proyecto de Integración (PI):** "Análisis termohidráulico mediante CFD de una superficie de intercambio de calor de tipo Dimple Jacket bajo diferentes condiciones de operación".

**Modalidad:** Proyecto de Investigación

**Versión:** Primera.

**Trimestre Lectivo:** 24-P

¿Cómo justifican la participación de tres personas en este proyecto?

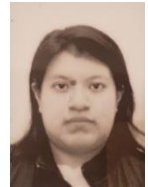
**Datos de los alumnos:**

Nombre: Pamela Anyelee Morga Castillo

Matricula: 2193002721

Correo electrónico: al2193002721@azc.uam.mx

Firma. \_\_\_\_\_



Nombre: Cristian Alexander Ibarra Cisneros

Matricula: 2163074648

Correo electrónico: al2163074648@azc.uam.mx

Firma. \_\_\_\_\_

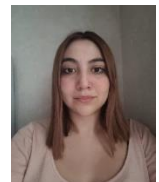


Nombre: Denisse Estefania Puente Hinojosa

Matricula: 2192002156

Correo electrónico: al2192002156@azc.uam.mx

Firma. \_\_\_\_\_



**Asesor:**

Nombre: M. en C. Carlos Alejandro Vargas.

Categoría: Titular C.

Departamento: Ciencia Básicas

Teléfono: 55 2325 5918

Correo electrónico: cvargas@azc.uam.mx

Firma. \_\_\_\_\_

**Co-Asesor:**

Nombre: Dr. Ignacio Carvajal Mariscal.

Categoría: Titular.

Departamento: Posgrado en Ciencias en Ingeniería Mecánica, ESIME Zacatenco, IPN.

Teléfono: 55 57296000 ext. 54884

Correo electrónico: icarvajal@ipn.mx

Firma. \_\_\_\_\_

**Co-Asesor:**

Nombre: M. en C. René Rodríguez Rivera.

Categoría: Asistente.

Departamento: Energía.

Teléfono: 7737369335

Correo electrónico: rerori@azc.uam.mx

Firma. \_\_\_\_\_

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

---

Pamela Anyelee Morgia Castillo

---

Cristian Alexander Ibarra Cisneros

---

Denisse Estefania Puente Hinojosa

---

M. en C. Carlos Alejandro Vargas.

---

Dr. Ignacio Carvajal Mariscal

---

M. en C. René Rodríguez Rivera

## 1. Introducción

El uso de combustibles fósiles ha contribuido significativamente al deterioro ambiental y a generar emisiones de gases de efecto invernadero, lo que hace crucial explorar y adoptar fuentes de energía alternativas y renovables como los biocombustibles. El biodiésel, producido a partir de aceites vegetales, se presenta como una alternativa viable y de menor impacto ambiental, aprovechando recursos naturales y reduciendo la huella de carbono. Este biocombustible ofrece varias ventajas, como la reducción de la dependencia de recursos fósiles y la generación de menos emisiones contaminantes.

En el Centro Mexicano para la Producción más Limpia-IPN, el Laboratorio Nacional de Desarrollo y Aseguramiento de la Calidad de los Biocombustibles (LaNDACBio) del IPN se cuenta con un reactor con enchaquetado de Dimple Jacket (Figura 1), el cual es utilizado para la producción de biodiesel.



**Figura 1.** Reactor con enchaquetado de Dimple Jacket del Laboratorio Nacional de Desarrollo y Aseguramiento de la Calidad del Biocombustibles, LaNDACBio IPN.

Para garantizar la calidad del producto, es esencial que la transferencia de calor en los tanques enchaquetados sea uniforme en toda la superficie. La optimización del reactor se llevará a cabo mediante el análisis de parámetros críticos como el flujo másico, la temperatura de entrada y salida tanto en la parte superior como en la inferior del reactor, así como la presión y la velocidad de flujo, utilizando simulaciones en CFD.

En la literatura existe poca o nula referencia sobre el análisis de las superficies internas del Dimple Jacket (DJ) para estimar su comportamiento térmico e hidrodinámico que permitan establecer una relación con el proceso de producción de biodiesel a partir de la determinación de tasa de transferencia de calor del reactor. En este proyecto se utilizará la dinámica de fluidos computacional para evaluar el comportamiento termohidráulico de la superficie DJ bajo diferentes condiciones de operación. Los resultados que se obtengan contribuirán a obtener más conocimientos y a mejorar la producción de biodiesel en el LaNDACBio del IPN.

¿cuanto se produce actualmente para decir que se va a mejorar?

una imagen en corte del DJ para tener más referencia

## 2. Antecedentes

En 2022, Merizalde Paredes tuvo como proyecto para titulación el diseño y construcción de un tanque didáctico con agitador de doble camisa y serpentín. Su objetivo era diseñar un sistema de potencia para un tanque de 60 l de capacidad. Bajo este modelo implementado fue posible calcular el balance global de energía en el tanque agitador mediante el serpentín helicoidal, analizar la transferencia de calor variando el caudal de entrada y el tipo de agitador, estableciendo una relación entre estas variables y el comportamiento de los sistemas de transferencia de calor [1]. Por lo que sus resultados al cambiar las condiciones en el tanque sustentan el planteamiento de explorar aún más, el cómo estas variables influyen en la eficiencia, motivo por el cual en este proyecto se realizarán simulaciones a través de análisis numéricos para encontrar las condiciones más adecuadas.

En el 2020, Marlín García Díaz et al., diseñaron un reactor enchaquetado con agitación mecánica para el tratamiento de aceite vegetal usado; el diseño fue realizado para un volumen de 1 l en el cual se realizaron cálculos a través de la metodología empleada en el diseño de tanques [2]. Por esto los datos obtenidos funcionan como referencia en el cálculo de la metodología y procesamiento estadístico de los resultados para futuras implementaciones.

En el 2018, Josué González desarrolló un proyecto de investigación sobre simulación de transferencia de calor en tanques enchaquetados con agitadores de disco y flujo axial. Su objetivo fue simular y comparar el comportamiento del fluido agitado por impulsores de disco y de flujo axial en un tanque enchaquetado [3]. Su desarrollo funge como guía en el análisis numérico para mejorar los procesos, cada uno con sus características en específico.

En el 2014, Manuel Tamayo trabajó en un proyecto que lleva por nombre "Escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación". En este proyecto se simularon, mediante elementos finitos, los parámetros de operación del reactor enchaquetado construido, empleando el software ANSYS [4]. Por lo que sus resultados serán un punto de comparación al verificar los datos de una simulación diferente y mismo software (programa ANSYS) en el análisis de transferencia de calor y la determinación de la distribución de temperaturas, así como el flujo de calor en el enchaquetado.

## 3. Justificación

Este proyecto explora alternativas para obtener resultados precisos sobre la transferencia de calor en un reactor bajo diversas condiciones termohidráulicas, evitando la necesidad de instalar una planta completa. Se hace a través de la implementación de simulaciones y modelado, se busca analizar el comportamiento termohidráulico que ocurre en el reactor, dado que es fundamental para su funcionamiento y operación. El enfoque se centra en un análisis termohidráulico mediante CFD de una superficie de intercambio de calor tipo Dimple Jacket, evaluando diferentes condiciones de operación como flujo másico y temperatura, con entradas

No me queda claro

significado

de flujo en la parte superior e inferior del reactor. Esta investigación contribuirá a reducir los costos asociados a las pruebas industriales y proporcionará una mayor comprensión del flujo térmico en el enchaquetado, dado que existe poca o nula referencia sobre este tipo de intercambiadores de calor.

¿Se puede comparar con los resultados de otros enchaquetados? ¿que información de análisis existe actualmente del que van a evaluar?

## 4. Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el comportamiento térmico e hidráulico de una superficie de intercambio de calor de tipo Dimple Jacket bajo diferentes condiciones de operación mediante CFD. en un reactor...

### Objetivos particulares

¿lo van a diseñar, o, van a evaluar lo que ya existe?

Diseñar el modelo 3D del reactor con la integración de la superficie tipo Dimple Jacket.

Evaluar la caída de presión bajo diferentes condiciones de operación en el enchaquetado, considerando tanto la entrada de flujo por la parte superior como por la parte inferior del reactor.

Evaluar la distribución de temperatura bajo diversas condiciones de operación en el enchaquetado, considerando tanto la entrada de flujo por la parte superior como por la parte inferior del reactor.

Evaluar la distribución de velocidades de entrada de flujo en el enchaquetado, considerando tanto la entrada del flujo por la parte superior como por la parte inferior del reactor.

Determinar los coeficientes convectivos de transferencia de calor en el enchaquetado de Dimple Jacket.

## 5. Metodología

La propuesta es realizar la simulación matemática del recubrimiento tipo DJ de un reactor (Figura 1) usado en el proceso de transesterificación para la producción de biodiésel.

La chaqueta tipo DJ está conectada a colectores solares por los que circula agua destilada, la cual se calienta hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 75 °C. El flujo de agua caliente circula a través de la chaqueta para proporcionar el calor necesario para lograr el proceso de transesterificación que se logra a una temperatura de 65 °C. alguna imagen

A continuación, se presentan las fases para realizar el proyecto de investigación.

### Fase 1: Modelado

Modelado del Reactor con el intercambiador de tipo Dimple Jacket

1. Tomar medidas del reactor del Laboratorio Nacional de Desarrollo y Aseguramiento de la Calidad del Biocombustibles, LaNDACBio del IPN.
2. Realizar el modelo 3D del reactor con el enchaquetado tipo Dimple Jacket.

### **Fase 2: Simulación CFD**

1. Realizar el análisis de sensibilidad de la malla correspondiente en el enchaquetado.
2. Analizar y evaluar diferentes condiciones de operación para conocer diversos comportamientos del reactor en estado estacionario:
  - Flujos máxicos a las temperaturas de entrada de: 60 °C, 70 °C y 80 °C.
  - Carga de producto: 25%, 50% y carga completa del reactor.
  - Entrada de flujo tanto en la parte superior como inferior del reactor.

### **Fase 3: Análisis de resultados**

1. Con los resultados de las simulaciones, estimar los coeficientes convectivos interior y exterior.
2. Estimación de caídas de presión dentro del enchaquetado.

### **Fase 4: Resultado final**

1. Generar una base de datos que permita comparar la operación de la superficie con las diferentes condiciones de operación y determinar la configuración que transfiera mayor calor al reactor y menor caída de presión.

## **6. Normatividad**

**NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995**, Esta norma regula las pérdidas de energía por disipación en sistemas de alta temperatura y la ganancia de calor en sistemas de baja temperatura mediante el uso adecuado de aislamiento térmico en instalaciones industriales. [5].

**ISO 9001:2015**: Sistema de gestión de calidad. Aunque no es específico de CFD, asegura que las empresas que realizan análisis de CFD tengan sistemas de gestión de calidad efectivos [6].

**NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005**: Define las especificaciones para los combustibles fósiles y alternativos, incluyendo el biodiésel [7].

**NOM-044-SEMARNAT-2017**: Regula las emisiones de contaminantes provenientes de los motores que usan diésel y sus mezclas con biocombustibles [8].

## **7. Cronograma de Actividades**

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

Mover a la siguiente hoja

- Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

### Cronograma del Proyecto 24-O



ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Tomar medidas del reactor y el enchaquetado del LaNDACBio IPN.												
2. Diseñar el dibujo 3D del reactor y enchaquetado Dimple Jacket..												
3. Determinar las distintas condiciones de operación del reactor en estado estacionario, para realizar la simulación con entrada de flujo en la parte inferior.												
4. Analizar y evaluar mediante simulación CFD diferentes flujos máxicos con temperaturas de entrada de 60 °C, 70 °C y 80 °C por entrada de flujo en la parte inferior del reactor.												
5. Analizar y evaluar la carga de producto: 25%, 50% y carga completa del reactor por entrada de flujo en la parte inferior del reactor.												
6. Estimar los coeficientes convectivos interior y exterior de enchaquetado.												
7. Generar una base de datos que permita comparar los distintos casos particulares de operación del reactor, con entrada de flujo en la parte inferior.												

¿?

diferenciar con la actividad 4 del trim 251

## Cronograma del proyecto 25-I

ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Determinar las distintas condiciones de operación del reactor en estado estacionario, para realizar la simulación en entrada de flujo en la parte superior.	■	■										
2. Analizar y evaluar mediante simulación CFD diferentes flujos máxicos con temperaturas de entrada de 60 °C, 70 °C y 80 °C por entrada de flujo en la parte superior del reactor.			■	■								
3. Analizar y evaluar la carga de producto: 25%, 50% y carga completa del reactor por entrada de flujo en la parte superior del reactor.					■	■						
4. Estimar los coeficientes convectivos interior y exterior del reactor enchaquetado.							■	■				
5. Generar una base de datos que permita comparar los distintos casos particulares de operación del reactor, con entrada de flujo en la parte superior.									■	■	■	
7. Redacción del reporte final.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

diferenciar con la actividad 6 del trim 240

¿no lo van a entregar?

## 8. Entregables.

- Reporte Final.

## 9. Referencias bibliográficas.

- [1] Merizalde Paredes, 2022, "Diseño y construcción de un tanque didáctico con agitador de doble camisa y serpentín para el laboratorio de transferencia de calor de la Facultad de Ingeniería Mecánica sistema de potencia y serpentín, Trabajo de integración curricular presentado como requisito para la obtención del título de ingeniero mecánico, Escuela Nacional Politécnica, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- [2] Marilín García-Díaz, Yunaisys Cruz-García and José Gandón-Hernández et al. "Diseño de un reactor enchaquetado con agitación mecánica para el tratamiento de aceite vegetal usado". Revista Tecnología Química. 2020. Vol. 40(3):658-673. DOI.
- [3] González San Román, 2018, "Simulación de la transferencia de calor en tanques enchaquetados con agitadores de disco y flujo axial", Proyecto de Integración (PI),



División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana.

- [4]** Tamayo Garcés, 2014, "Escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación", Trabajo de diploma presentado en opción al título académico de Ingeniero Químico, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" Facultad de Ingenierías, Departamento de Química e Ingeniería Química.
- [5]** Declaratoria de vigencia de la norma Mexicana NOM-009-ENER-1995, 1995, Diario Oficial de la Federación, Río Amazonas No. 62, Col. Cuauhtémoc, C.P. 06500, Ciudad de México, <http://ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69931.pdf>
- [6]** ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de calidad, 2015, quinta edición, <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/20/62085.html>
- [7]** Declaratoria de vigencia de la norma Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, 2005, Diario Oficial de la Federación, Río Amazonas No. 62, Col. Cuauhtémoc, C.P. 06500, Ciudad de México, [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2092335&fecha=20/09/2005](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2092335&fecha=20/09/2005)
- [8]** Declaratoria de vigencia de la norma Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017, 2017, Diario Oficial de la Federación, Río Amazonas No. 62, Col. Cuauhtémoc, C.P. 06500, Ciudad de México.  
<https://www.diariooficial.gob.mx/normasOficiales.php?codp=6978&view=si#gsc.tab=0>

## 10. Terminología.

### Proceso de Transesterificación.

Este proceso consiste en combinar un aceite vegetal con un alcohol en presencia de un catalizador, para obtener ésteres de ácidos grasos y glicerina como residuo de valor añadido. En la Figura 2, se presenta la reacción química global, en donde R son las moléculas hidrocarbonadas de ácidos grasos, que pueden ser las mismas o diferentes y R' es el radical alquilo correspondiente al alcohol empleado en el proceso.

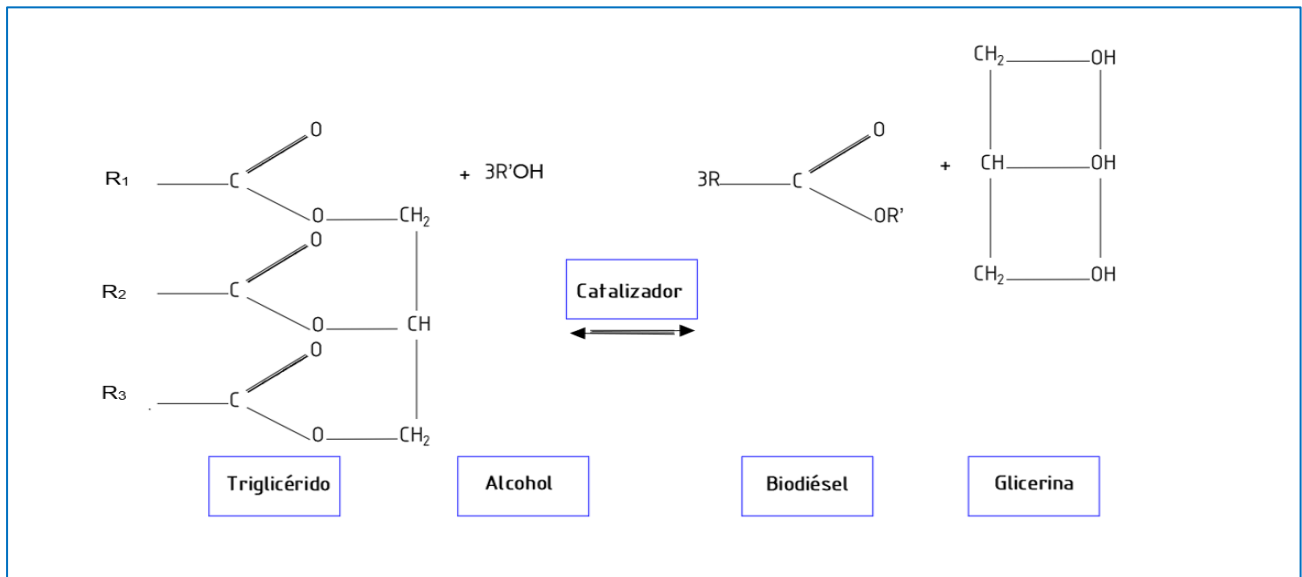


Figura 2. Proceso de Transesterificación.

## 11. Infraestructura.

No aplica.

## 12. Asesoría complementaria.

No aplica.

## 13. Publicación o difusión de los resultados.

No aplica.