

# Transformación de un reactor en desuso para su utilización como intercambiador de calor

## *Transformation of a decommissioned reactor for its use as a heat exchanger*

Fecha de recepción: 2023-12-14 Fecha de aceptación: 2024-04-02 Fecha de publicación: 2024-06-10

**Victoria Inés Acuña Ramírez<sup>1</sup>**

Universidad Metropolitana, Venezuela  
[victoria.acuna@correo.unimet.edu.ve](mailto:victoria.acuna@correo.unimet.edu.ve)  
<https://orcid.org/0009-0007-4212-6882>

**José Manuel Barriola Damborenea<sup>2</sup>**

Universidad Metropolitana, Venezuela  
[jbarriola@unimet.edu.ve](mailto:jbarriola@unimet.edu.ve)  
<https://orcid.org/0009-0001-6214-9850>

**Miguel Manuel Pérez Hernández<sup>3</sup>**

Universidad Metropolitana, Venezuela  
[mperez@unimet.edu.ve](mailto:mperez@unimet.edu.ve)  
<https://orcid.org/0000-0002-8237-8538>

## RESUMEN

La investigación se centró en revitalizar un reactor inactivo por más de 25 años, otorgándole una doble función como intercambiador de calor. Este proceso implicó una reingeniería completa, la incorporación del control de procesos mediante el monitoreo de variables claves y la creación de un manual de uso y un plan de mantenimiento para maximizar su durabilidad y mejorar la disponibilidad

del equipo. Inicialmente, se llevó a cabo una revisión teórica del material necesario, seguida por una evaluación de las condiciones iniciales del equipo. Además, se corrigieron los errores identificados y se determinaron las reparaciones y adquisiciones necesarias. Posteriormente, se propuso un enfoque que permitiera a la Universidad Metropolitana aprovechar el equipo para nuevas prácticas e investigaciones, incorporando un control de procesos automatizado que permitió el registro de variables relevantes y facilitó su análisis posterior, integrando sensores para registrar datos significativos. Los valores cuantitativos obtenidos de las pruebas, como la velocidad de transferencia de calor y la uniformidad de su distribución radial demostraron que la agitación afecta la transferencia de calor y su distribución. Esta propuesta ayudó a mitigar el costo de oportunidad al tener el equipo operativo para la educación y la investigación, generando beneficios financieros para la institución.

**PALABRAS CLAVE:** control de procesos, mantenimiento, intercambiador de calor, reingeniería, reactor, sensores

## ABSTRACT

The research focused on revitalizing an inactive reactor for over 25 years, granting it a dual function as a heat exchanger. This process involved a complete reengineering effort, incorporating process control through monitoring key variables, and creating a user manual and maintenance plan to maximize its durability and improve equipment availability. Initially, a theoretical review of the necessary material was conducted, followed by an assessment of the initial equipment conditions. Identified errors were corrected, and necessary repairs and acquisitions were determined. Subsequently, an approach was proposed to allow Metropolitan University to utilize the equipment for new practices and research, integrating automated process control that enabled the recording of relevant variables and facilitated subsequent analysis. Sensors were also integrated to capture significant data. Quantitative values obtained from tests, such as heat transfer velocity and the uniformity of its radial distribution, demonstrated that agitation affects heat transfer and its distribution. This proposal helps mitigate opportunity cost by keeping the equipment operational for education and research, resulting in financial benefits for the institution.

**KEYWORDS:** process control, maintenance, heat exchanger, reengineering, reactor, sensors

## Introducción

En los años 90, la Universidad Metropolitana (UNIMET) adquirió un reactor que fue objeto de estudio por Nobile y Bustamante (1998). Sin embargo, el equipo ha permanecido inoperativo desde entonces, principalmente debido a los costos asociados con la realización de experimentos. El estado de inactividad ha representado un costo de oportunidad para la universidad, según la definición de Horngren et al (2012), que lo describe como la pérdida de contribución a la utilidad al no utilizar un recurso limitado en su siguiente mejor uso alternativo. Esta situación no solo se refiere a las oportunidades perdidas para ofrecer prácticas e investigaciones como servicios, sino también a los ingresos y la reducción de costos que la universidad ha sacrificado al no aprovechar un equipo capaz de generar diversos productos.

El manejo eficiente y la maximización del uso de los recursos disponibles son claves para el éxito empresarial, como indica Saucedo (2001). Un objetivo esencial de la cadena de suministro es unificar estos recursos para alinearlos con los objetivos de la empresa y mejorar su competitividad.

La transferencia de calor, un fenómeno central en las industrias de ingeniería química y mecánica, ha motivado esta investigación. La Universidad se ha propuesto transformar un reactor específico en un intercambiador de calor, preservando sus características mecánicas. El enfoque de la investigación implicó evaluar el estado actual del equipo, identificando las reparaciones y adquisiciones necesarias para su óptimo funcionamiento. Además, se buscó diseñar una propuesta para la utilización del reactor como intercambiador de calor, con la intención de implementarla y operar el dispositivo de manera automatizada.

Esta investigación, guiada por la relevancia de la transferencia de calor en las industrias de ingeniería química y mecánica, se alineó con el objetivo de formar ingenieros competentes para estas industrias. La propuesta buscó transformar un reactor en desuso de la UNIMET en un intercambiador de calor sin modificar sus características mecánicas. Para esto, se evaluó el estado actual del equipo para identificar las reparaciones y adquisiciones necesarias; además, se diseñó una propuesta para su utilización como intercambiador de calor, con la finalidad de ejecutarla y operar el dispositivo de manera automatizada.

## Metodología

El reactor en desuso representaba una pérdida de recursos y oportunidades para la investigación y la formación en el ámbito académico e industrial de los estudiantes de la universidad. Para revitalizarlo con una doble funcionalidad, se planteó una reingeniería completa del equipo que incluyó las siguientes fases:

- Revisión bibliográfica exhaustiva: destacando la investigación previa de Nobile y Bustamante (1998) para establecer las bases necesarias para la propuesta.
- Evaluación del equipo: diagnóstico del estado actual del reactor, incluyendo su funcionamiento, componentes y necesidades de reparación.



- Diseño de la transformación: selección de materiales, componentes y sensores para la conversión del reactor en un intercambiador de calor (Kanamori et al., 2011).
- Rediseño: implementación de la transformación, incluyendo la limpieza y reparación de componentes, la instalación del circuito eléctrico, la instalación de sensores y la implementación de un sistema de automatización y control de procesos que incluyó la creación de un diagrama de tuberías e instrumentación, el diseño e instalación de la instrumentación necesaria, y la programación de un microcontrolador Arduino (Arduino, 2023) para adquirir y transmitir datos medidos por los sensores al usuario. Se documentaron todas las modificaciones realizadas.
- Pruebas y análisis: con la propuesta implementada, se llevó a cabo la fase de pruebas para verificar el funcionamiento del equipo y el control de procesos. Se compararon dos escenarios: uno sin agitación durante la transferencia de calor y otro con agitación a 214 rpm, manteniendo una temperatura constante de 73 °C ( $\pm 1$  °C). Los datos recopilados durante las pruebas fueron registrados y graficados.
- Manuales y planes: elaboración de un manual de uso y un plan de mantenimiento preventivo para facilitar la operación y maximizar la vida útil del equipo.

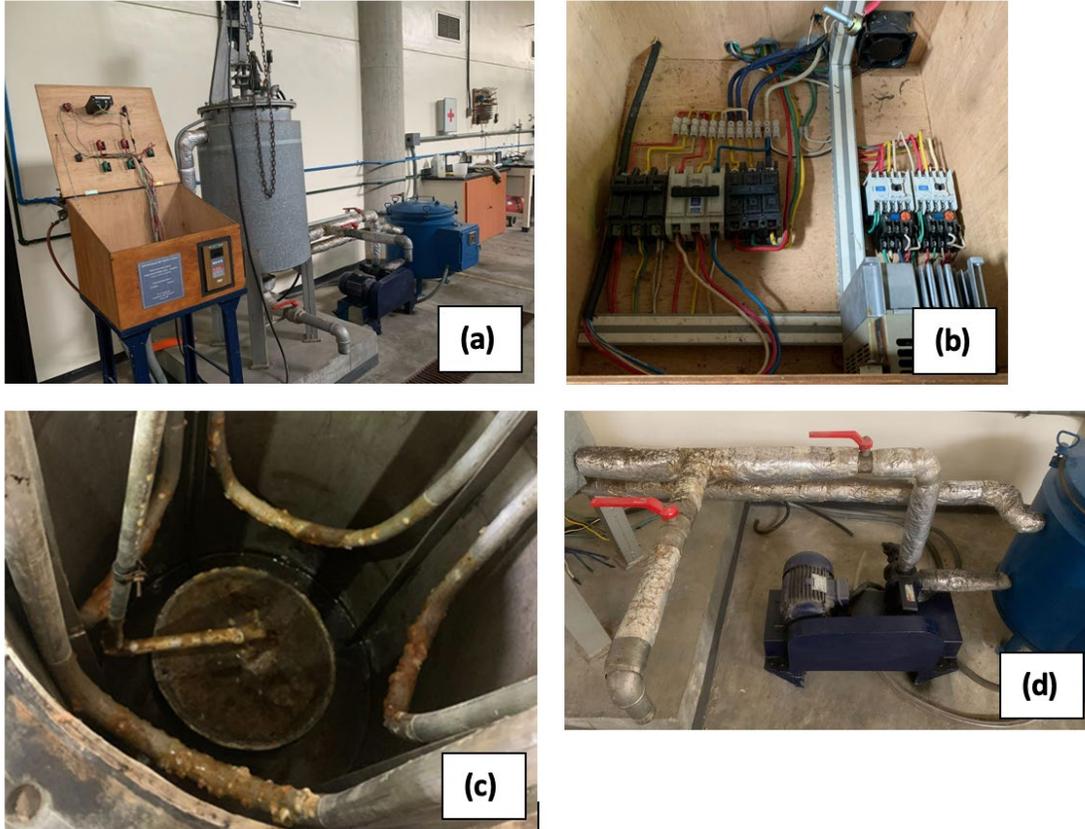
## Resultados

El sistema instalado no cumplía con ciertas normas de seguridad, como se evidencia en la *Figura 1*, donde se utilizaba un gabinete de madera, contradiciendo las pautas establecidas por la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (NEMA, 2020). Estas normas especifican que un gabinete eléctrico debe protegerse contra la inflamabilidad. Además, debido al tiempo de inactividad, se observó deterioro en algunos componentes, como la instalación eléctrica y el tanque de aceite del intercambiador de calor. Asimismo, se detectó contaminación en el aceite utilizado en el intercambiador de calor.

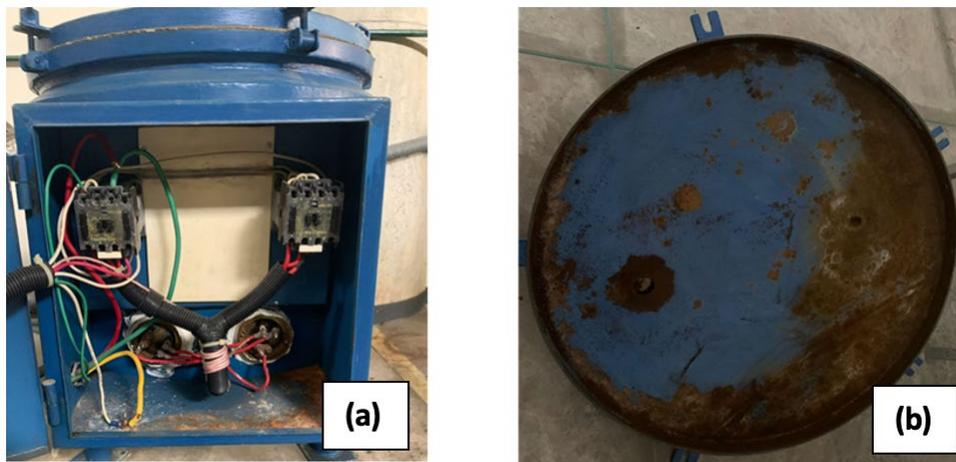
A continuación, se presentan en las *Figura 1 y 2* algunas fotografías que documentan las condiciones iniciales encontradas, destacando el deterioro mencionado y los errores en la implementación.

**Figura 1**

Condiciones iniciales del equipo encontrado. (a) vista general; (b) gabinete de madera; (c) interior del reactor; (d) sistema de tuberías.

**Figura 2**

Condiciones iniciales del gabinete metálico del calentador (a) y de la tapa del calentador (b).



En línea con lo anterior, en las *Figuras 3 y 4* se exhiben fotografías que documentan el estado del sistema después de llevar a cabo la limpieza y reparación de todos los equipos e instrumentos reutilizables. En la *Figura 3* izquierda se muestra el agitador de paletas perpendiculares utilizado (Zhou et al., 2019).

**Figura 3**

*Reactor limpio y desvinculado de las tuberías y el difusor de aire.*



**Figura 4**

*Sistema de tuberías de circulación de aceite limpio (izquierda) y tapa del calentador (derecha) tras haber sido lijada y pintada.*



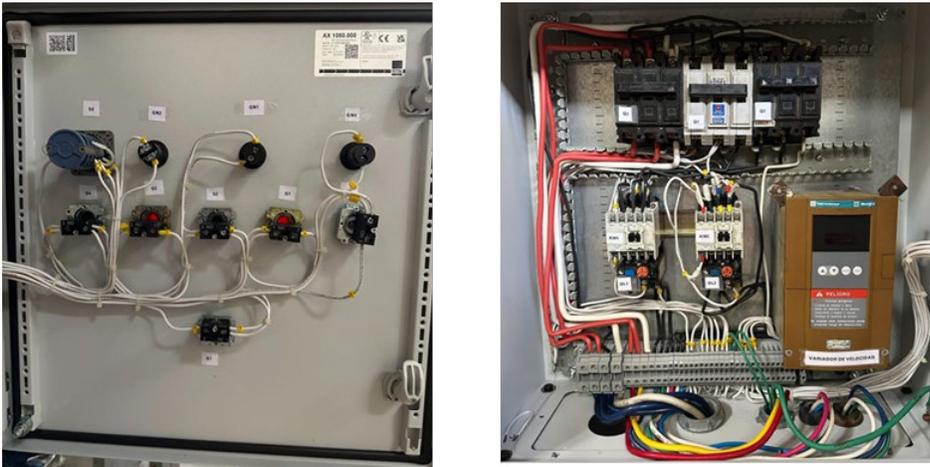
En las *Figuras 5 y 6* se presentan imágenes que ilustran el montaje del circuito eléctrico después de su diseño, con corrección de errores de implementación anteriores. Los gabinetes eléctricos NEMA 4 están diseñados para uso en interiores o exteriores para brindar un grado de protección al personal contra el contacto accidental con el equipo encerrado; para proporcionar un grado de protección contra la caída de suciedad, lluvia, agua, nieve, polvo llevado por el viento, salpicaduras de agua y agua dirigida con manguera. Además, los gabinetes protegen del daño por la formación externa de hielo en la caja.

**Figura 5**

*Toma externa del gabinete metálico (NEMA 4) de control eléctrico.*

**Figura 6**

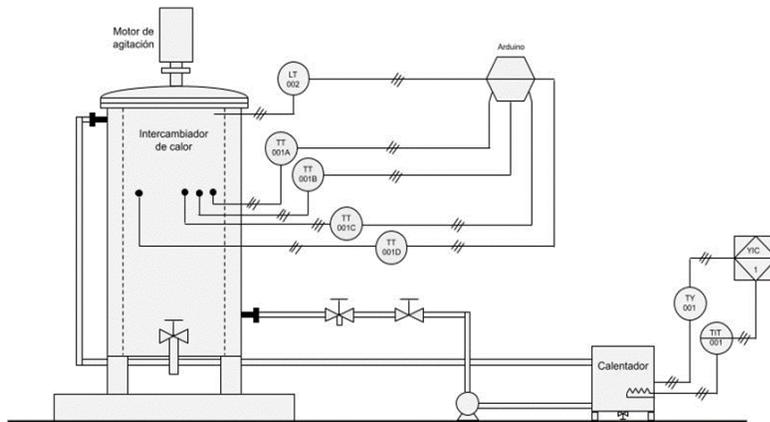
*Toma interna del gabinete metálico (NEMA 4) de control eléctrico.*



Por otro lado, en la *Figura 7* se observa el diseño e implementación del control de procesos y su automatización.

**Figura 7**

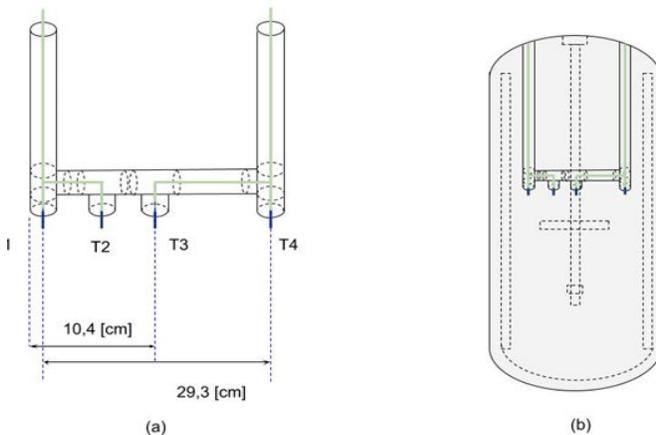
*P&ID propuesto para el control automatizado del intercambiador.*



En la *Figura 8*, se presenta la propuesta de instalación de los sensores de temperatura DS18B20, el cual es un sensor de temperatura digital de alta precisión fabricado por Maxim Integrated y Dallas Semiconductor (2022). Es un dispositivo que utiliza una sola línea de comunicación, lo que significa que requiere un solo cable para transmitir datos de temperatura y recibir comandos. Este sensor utiliza el protocolo de comunicación OneWire, lo que facilita su integración en proyectos electrónicos.

**Figura 8**

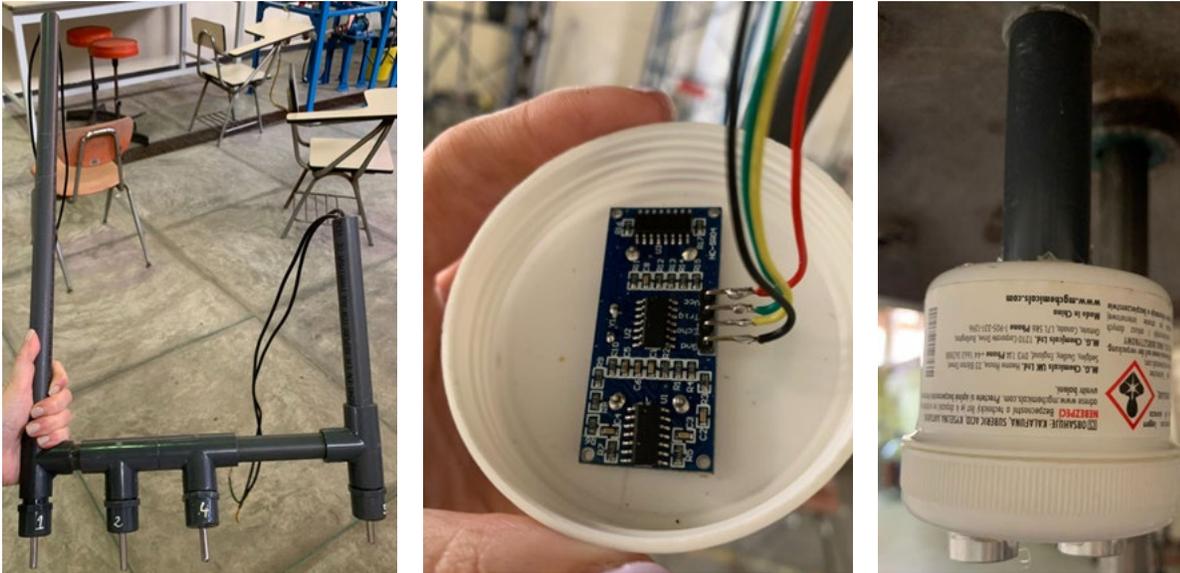
*Propuesta de instalación de los sensores de temperatura (DS18B20).*



En la *Figura 9*, se presenta el montaje de los sensores de temperatura DS18B20 y de nivel HC-SR04, fabricado por Elecbee (2023). El sensor de nivel HC-SR04 es un dispositivo ultrasónico utilizado para medir la distancia entre el sensor y un objeto cercano. El HC-SR04 utiliza ondas ultrasónicas para medir distancias, emitiendo un pulso ultrasónico a través de un transductor y luego detectando el eco cuando este rebota en un objeto. La distancia se calcula midiendo el tiempo que tarda el pulso en viajar hacia el objeto y regresar.

**Figura 9**

Montaje de los sensores de nivel (HC-SR04) y temperatura (DS18B20).



En la *Figura 10*, se muestra la instalación del sensor de nivel HC-SR04.

**Figura 10**

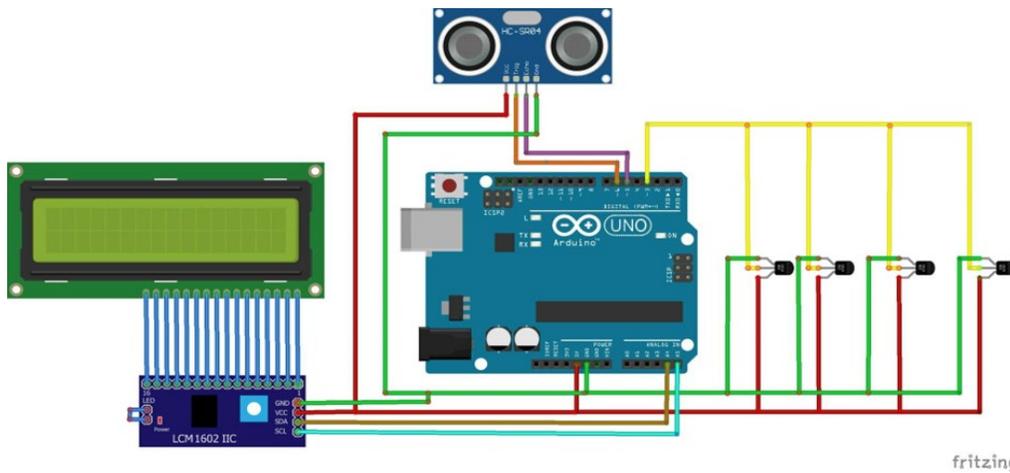
Instalación de los sensores en el reactor.



En la *Figura 11*, se esquematiza el montaje del microprocesador Arduino con las conexiones para el control de los sensores de temperatura y de nivel con un visor Módulo de Visualización de 2x16 Caracteres.

**Figura 11**

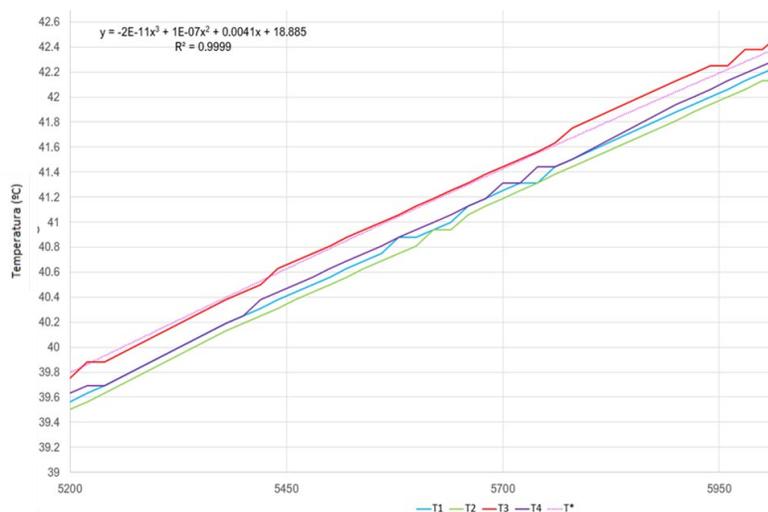
*Montaje del microprocesador Arduino con sus conexiones.*



Como se detalló en la sección anterior, tras establecer el montaje del nuevo sistema propuesto, que incluía el control del proceso, se llevaron a cabo las pruebas correspondientes. Se realizaron dos experimentos con agitación y dos sin agitación, manteniendo una temperatura constante de 70 °C. Al graficar los resultados, se incorporó una línea de tendencia ( $T^*$ ) que mejor se ajustara al comportamiento registrado por el sensor de temperatura #3 ( $T_3$ ). Este sensor, que consistentemente indicó una temperatura superior cuando no había agitación, presentó una diferencia que prevaleció en todas las pruebas, sugiriendo que su precisión y error son distintos a los otros tres sensores. A continuación, se proporciona una ampliación de dos de estos experimentos, siendo la *Figura 12* correspondiente a una experiencia sin agitación, y la *Figura 13* a una experiencia con agitación.

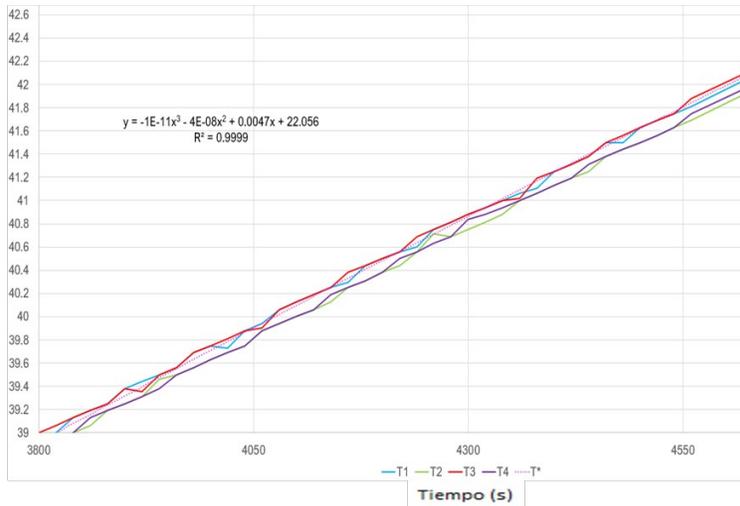
**Figura 12**

*Vista aumentada de las experiencias, sin agitación.*



**Figura 13**

Vista aumentada de las experiencias, con agitación.



En las gráficas anteriores, resaltan dos aspectos fundamentales. Primero, se observa la velocidad de aumento de temperatura en el agua al entrar en contacto con la chaqueta del intercambiador de calor, que contiene aceite a aproximadamente  $73\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ).

Por otra parte, es esencial señalar que la ausencia de agitación facilita la identificación clara de las líneas de temperatura de cada sensor. No obstante, durante la agitación, esta distinción se vuelve más desafiante, indicando una diferencia en la velocidad de transferencia de calor según la posición radial. Este fenómeno respalda lo sugerido por Chilton et al. (1944), Pietranski (2020) y Çengel et al. (2019).

Para validar numéricamente lo observado en las gráficas, se seleccionaron tres puntos específicos ( $x = 1980\text{ s}$ ,  $x = 3660\text{ s}$  y  $x = 4520\text{ s}$ ) y se calculó un  $\Delta T$ , que representa la diferencia entre la temperatura máxima ( $T_{\max}$ ) y mínima ( $T_{\min}$ ), captada por los sensores. Esto estableció un intervalo para cada punto  $x$ , donde un mayor intervalo indica una mayor diferencia en las temperaturas de los sensores, evidenciando una variación en la velocidad de aumento de temperatura en función de la posición radial.

Además, se introdujo un  $\Delta T'$ , que representa la diferencia de temperatura entre el centro del tanque ( $T_3$ ) y la periferia ( $T_1$ ). Un mayor  $\Delta T'$  también indica una mayor diferencia entre las temperaturas de los sensores. Las *Tablas 1, 2 y 3* corroboran que las experiencias con agitación presentan  $\Delta T$  y  $\Delta T'$  más pequeños, sugiriendo que este proceso favorece la uniformidad en la velocidad de transferencia de calor en diversas posiciones radiales.

**Tabla 1**

$\Delta T$  para un punto de tiempo cualquiera,  $x = 1980\text{ s}$ .

Experiencia	X (s)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	$\Delta T$	$\Delta T'$
		( $\pm 0,1$ °C)					
Prueba 1, sin agitación	1980	29,4	29,4	29,6	29,4	0,2	0,2
Prueba 2, sin agitación	1980	27	27,1	27,3	27,1	0,3	0,3
Prueba 1, con agitación	1980	31,2	31,1	31,2	31,1	0,1	0
Prueba 2, con agitación	1980	30,1	30,1	30,1	30,1	0	0

**Tabla 2**

$\Delta T$  para un punto de tiempo cualquiera,  $x = 3660$  s.

Experiencia	X (s)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	$\Delta T$	$\Delta T'$
		( $\pm 0,1$ °C)					
Prueba 1, sin agitación	3660	36,1	36,1	36,3	36,1	0,2	0,2
Prueba 2, sin agitación	3660	33,9	33,9	34,1	33,9	0,2	0,2
Prueba 1, con agitación	3660	38,4	38,3	38,4	38,3	0,1	0
Prueba 2, con agitación	3660	37,3	37,3	37,4	37,3	0,1	0,1

**Tabla 3**

$\Delta T$  para un punto de tiempo cualquiera,  $x = 4520$  s.

Experiencia	X (s)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	$\Delta T$	$\Delta T'$
		( $\pm 0,1$ °C)					
Prueba 1, sin agitación	4520	39,3	39,2	39,5	39,3	0,3	0,2
Prueba 2, sin agitación	4520	37,1	37,1	37,4	37,2	0,3	0,3
Prueba 1, con agitación	4520	41,7	41,6	41,7	41,6	0,1	0
Prueba 2, con agitación	4520	40,7	40,7	40,8	40,6	0,2	0,1

En las *Tablas 4 y 5*, se presenta un resumen de las líneas de tendencia halladas en cada experiencia, sus pendientes y el punto donde alcanzan el máximo de la función establecida. Se reitera que Y representa la temperatura alcanzada (en °C) y X el tiempo (en segundos) durante el cual el agua se encuentra en contacto con la pared de la chaqueta, por donde circula el aceite caliente a aproximadamente 73 °C ( $\pm 1$  °C).

**Tabla 4***Líneas de tendencia y ecuaciones de la pendiente.*

Experiencia	Ecuación de la línea de tendencia	
Prueba 1, sin agitación	$y = -6,9646 \cdot 10^{-12}x^3 - 5,39 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,004479x + 20,99478$	(1)
Prueba 2, sin agitación	$y = -2,12508 \cdot 10^{-11}x^3 + 9,81 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,004086x + 18,88535$	(2)
Prueba 1, con agitación	$y = -1,06146 \cdot 10^{-11}x^3 - 4,13935 \cdot 10^{-8}x^2 + 0,004749x + 22,05562$	(3)
Prueba 2, con agitación	$y = -2,39699 \cdot 10^{-11}x^3 + 1,1 \cdot 10^{-7}x^2 + 0,004285x + 21,35972$	(4)
Experiencia	Ecuación de la pendiente	
Prueba 1, sin agitación	$m = -2,08938 \cdot 10^{-11}x^2 - 1,078 \cdot 10^{-7}x + 0,004479$	(5)
Prueba 2, sin agitación	$m = -6,37524 \cdot 10^{-11}x^2 + 1,962 \cdot 10^{-7}x + 0,004086$	(6)
Prueba 1, con agitación	$m = -3,18438 \cdot 10^{-11}x^2 - 8,2787 \cdot 10^{-8}x + 0,004749$	(7)
Prueba 2, con agitación	$m = -7,19097 \cdot 10^{-11}x^2 + 2,2 \cdot 10^{-7}x + 0,004285$	(8)

**Tabla 5***Puntos máximos de las funciones encontradas.*

Experiencia	Valor de X (tiempo, en segundos)	Valor de Y (temperatura del agua, en °C) ( $\pm 0,1$ °C)
Prueba 1, sin agitación	12.284,84	55
Prueba 2, sin agitación	9.692,96	48,4
Prueba 1, con agitación	10.982,25	55,2
Prueba 2, con agitación	9.399,17	51,5

Asimismo, en la *Tabla 6* se detalló, para cada experiencia y utilizando su ecuación correspondiente, el aumento en grados centígrados en un periodo de una hora y media. Se evidencia que, en promedio, durante ese lapso de 5,400 segundos, la temperatura aumentó aproximadamente 21.6 °C sin agitación y 22.6 °C con agitación, señalando así que la agitación favorece la velocidad de transferencia de calor.

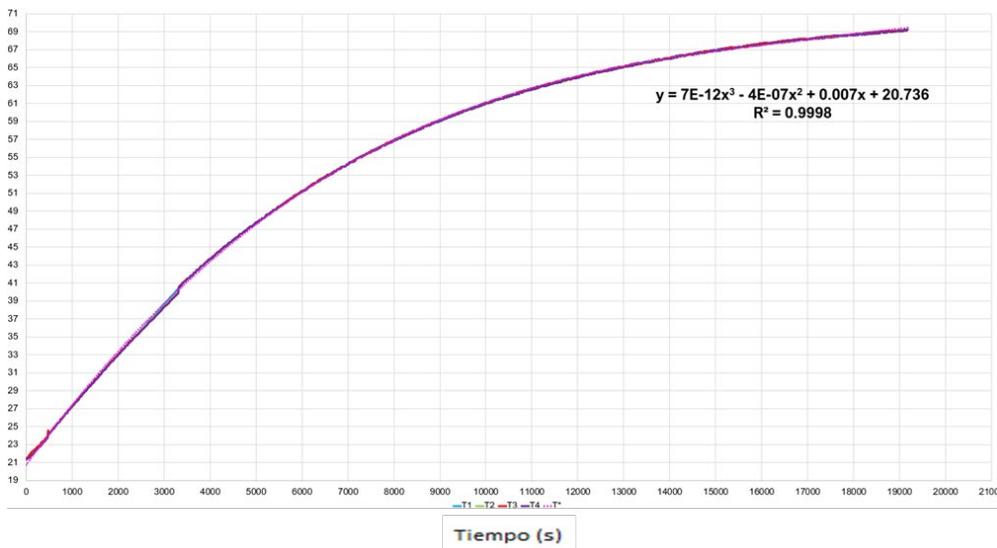
**Tabla 6***Puntos máximos de las funciones encontradas.*

Experiencia	Punto 1		Punto 2		$\Delta Y$ en 5400 s ( $\pm 0,1$ °C)
	X (s)	Y (°C) ( $\pm 0,1$ °C)	X (s)	Y (°C) ( $\pm 0,1$ °C)	
Prueba 1, sin agitación	0	21	5400	42,5	21,5
Prueba 2, sin agitación	0	18,9	5400	40,5	21,6
Prueba 1, con agitación	0	22,1	5400	44,8	22,7
Prueba 2, con agitación	0	21,4	5400	43,9	22,5

Por otro lado, se llevaron a cabo tres pruebas con el equipo durante aproximadamente cinco horas con el fin de monitorear la respuesta del sistema hasta alcanzar el punto de equilibrio y determinar la ecuación que describió su comportamiento. En la *Figura 14*, se presenta un gráfico promedio de las experiencias mencionadas, con un margen de error de  $\pm 0.1$  °C en el aumento de grados centígrados por segundo.

**Figura 14**

*Temperatura en función del tiempo, durante aproximadamente 5 horas de transferencia de calor con el aceite a aproximadamente 73 °C ( $\pm 1$  °C).*



La Ecuación 9 describe de manera más precisa la dinámica de la transferencia de calor en relación con el tiempo.

$$y = 7,09895 \cdot 10^{(-12)} x^3 - 3,7 \cdot 10^{(-7)} x^2 + 0,007033x + 20,73589 \quad (9)$$

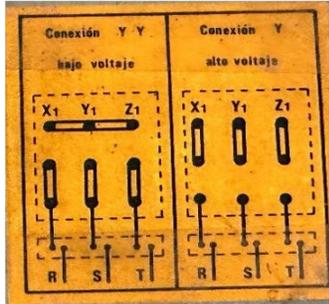
Al igualar la Ecuación 9 al valor de  $y=73$ , se determinó que la temperatura de 73 °C se alcanza en la masa de agua en un lapso de 22.891,15 segundos, equivalente a aproximadamente 6 horas y 20 minutos.

Cumpliendo con uno de los objetivos propuestos, en cuanto al Manual de Mantenimiento Preventivo, se realizó una hoja de vida para cada equipo: Bomba Hidráulica, Motor de Agitación, Calentador, Intercambiador de Calor / Reactor, Modificaciones en el Programa del Arduino, Programa Base del Arduino, Diagramas Eléctricos, con su respectiva descripción de las Actividades de Mantenimiento Preventivo.

En la *Figura 15*, se muestra como ejemplo la Hoja de Vida del motor de agitación.

Figura 15

Hoja de vida del motor de agitación, dentro del Plan de Mantenimiento Preventivo del sistema elaborado.

 <b>Universidad Metropolitana</b>			
Hoja de vida del equipo			
<b>Nombre del equipo</b>	Motor de Agitación	<b>Ubicación Física</b>	Laboratorio de Procesos de Fabricación, justo pasando la entrada principal, sobre el reactor/intercambiador de calor.
<b>Función del equipo</b>	Proporcionar la energía mecánica suficiente para agitar la sustancia que se encuentra dentro del reactor / intercambiador de calor.		
<b>Tipo de Equipo</b>	Equipo mecánico rotativo	<b>Marca</b>	Brown Boveri de Venezuela S.A.
<b>Modelo</b>	R42 – DT80N4	<b>Serial</b>	25306
<b>Sistema del que depende</b>	Prácticas de laboratorio y trabajos de investigación.		
<b>Condiciones Mecánicas</b>	Potencia: 0,75 kW Frecuencia: 60 Hz. Energía de trabajo: 1 HP.		
<b>Condiciones Eléctricas</b>	Conexión trifásica. Voltaje: 230YY / 460Y Amperaje: 3,8 / 1,9 A  El breaker que la activa es Q2 (Q1 ha de estar pasado). Se enciende y apaga a través de S4 y S3 respectivamente.		
<b>Comentarios</b>	Está conectado a un variador de velocidad (recibe conexión bifásica y entrega trifásica. El variador es marca Telemecanique, modelo Altivar 18) y a un reductor.		
<b>Memoria fotográfica</b>	  		

En cuanto al Manual de Uso, según Knott, R. (2022), se ha indicado: Preparaciones Preliminares para las Mediciones, Instalación de los complementos de Microsoft Excel necesarios, Instalación del driver CH340/CH341, Iniciación de los sensores y el programa del Arduino, Puesta en Marcha del Sistema, Recolección de Datos Obtenidos, Apagado del Sistema y Especificaciones del Sistema.

En la *Figura 16*, se muestran los pasos a seguir en la instalación del controlador para el Arduino.

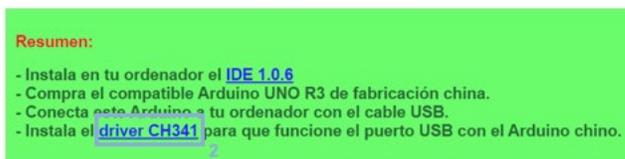
## Figura 16

*Instalación del controlador (driver) CH340/CH341, dentro del manual de Uso.*

### Instalación del driver CH340/CH341.

Para que el Arduino pueda ser reconocido adecuadamente por su computadora, siga los siguientes pasos:

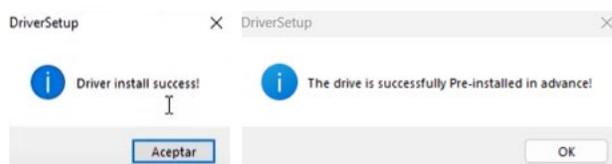
1. Visite el siguiente enlace <http://kio4.com/arduino/1inicio.htm>
2. Descargue el driver CH341 seleccionando el enlace resaltado en la Figura 4, que aparecerá en la página web que está visitando.



**Figura 4.** Paso 2, Instalación del Driver CH340/CH341.

Fuente: Elaboración propia.

3. Descomprima y abra la carpeta que descargó tras haber seleccionado el enlace del paso 2.
4. Seleccione la aplicación denominada 'SETUP' que aparecerá al realizar el paso 3 y que se puede ver en la Figura 5.



**Figura 7.** Paso 7, Instalación del Driver CH340/CH341.

## Conclusiones

En línea con los objetivos planteados, la identificación de las condiciones iniciales del equipo permitió detectar y corregir errores en la implementación anterior. La propuesta, al no implicar modificaciones mecánicas, asegura la operatividad futura del reactor.

La introducción de un control de procesos automatizado permitió el registro preciso de variaciones en múltiples variables, facilitando su interpretación y análisis posterior. Además, se demostró experimentalmente que la agitación afecta la velocidad y uniformidad de la transferencia de calor.

El manual de uso y el plan de mantenimiento proporcionarán orientación para la correcta utilización del equipo, reduciendo posibles inconvenientes y previniendo futuras fallas. En última instancia, esta propuesta ha ayudado a mitigar el costo de oportunidad asociado a un servicio no prestado, asegurando la operatividad del equipo para mejorar la educación estudiantil universitaria y facilitar investigaciones diversas.



## Referencias

- Arduino (4 de diciembre de 2023). Arduino Software (IDE) 2.2.1. *Arduino*. <https://www.arduino.cc/en/software>
- Çengel, Y. y Ghajar, A. (2020). *Transferencia de Calor y Masa: Fundamentos y aplicaciones* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Chilton, T., Drew, T. y Jebens, R. (1944). Heat Transfer Coefficients in Agitated Vessels. *Industrial & Engineering Chemistry*, 36(6), 510-516. <https://www.doi.org/10.1021/ie50414a006>
- Elecbee (8 de noviembre de 2023). Elecbee, buy from original factory. *Elecbee*. <https://www.elecbee.com/>
- Dallas Semiconductor (2023). *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer* [hoja informativa]. <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/58557/DALLAS/DS18B20/181/1/DS18B20.html>
- Horngren, C., Datar, S., y Rajan, M. (2012). *Contabilidad de costos. Un enfoque gerencial* (14ª ed.). Pearson Educación. <https://profefily.com/wp-content/uploads/2017/12/Contabilidad-de-costos-Charles-T.-Horn-gren.pdf>
- Kanamori, H., Yamamoto, T., Kato, Y., y Zamzam, Z. (2011). Characteristics of Heat Transfer Coefficient Distribution at Inside Wall of an Agitated Vessel Based on Data Measured by using a New Measuring Method. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 44(11), 908-918. <https://doi.org/10.1252/jcej.11we043>
- Knott, R. (21 de diciembre de 2023). Cómo hacer un manual de usuario: guía completa. *The TechSmith Blog*. <https://www.techsmith.es/blog/manual-usuario/>
- National Electrical Manufacturers Association (15 de noviembre de 2023). NEMA 250 Enclosure Types. *NEMA*. <https://www.nema.org/standards/view/nema-250-enclosure-types>
- Nobile, V. y Bustamante, G. (1998). *Oxidación de Hidrocarburos Parafínicos a Nivel Piloto* [Tesis de grado, Universidad Metropolitana]. Repositorio UNIMET. <https://unimet.ent.sirsi.net/custom/web/tesis/12/ATTP-155N62O9.pdf>
- Pietranski, J. (2020). *Over-all Heat Transfer Coefficients in Agitated Vessels*. [hoja informativa]. PDH Online. <https://pdhonline.com/courses/k102/k102content.pdf>
- Saucedo, R. (2001). *Cadena de suministro* [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio UTEL. <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/3850/17440.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zhou, Y., Wang, L., y Jiang, B. (2019). An investigation of the heat transfer performance of dual improved inter-mig impellers in a stirred tank with an inner heating coil. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36(3), 1143-1154. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190363s20180415>



Copyright (2024) © Victoria Inés Acuña Ramírez, José Manuel Barriola Damborenea, Miguel Manuel Pérez Hernández



Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons](#) 4.0.

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia – Texto completo de la licencia](#)