

Intercambiador de calor tipo Serpentin con instrumentación electrónica usando Tecnología Industry 4.0.

Coil-type heat exchanger with electronic instrumentation using Industry 4.0 Technology.

Osbaldo Ysaac García Ramos (1).
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
osbaldo.gr@tuxtla.tecnm.mx.

Rene Cuesta Díaz* (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
rene.cd@tuxtla.tecnm.mx.

Felix Eduardo Gómez Vázquez (3), Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
L21270084@tuxtla.tecnm.mx.

Aldo Esteban Aguilar Castillejos (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
aldo.ac@tuxtla.tecnm.mx.

José Ángel Zepeda Hernández (5). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
jose.zh@tuxtla.tecnm.mx.

Alexis de Jesús Flores García (6). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
alexis.fg@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en noviembre 05, 2025; aceptado en noviembre 24, 2025.

Resumen.

En el presente artículo se presenta el diseño, construcción y automatización de intercambiador de calor tipo serpentín. Fue desarrollado con un enfoque orientado a la Industria 4.0, integrando tecnologías de monitoreo y control en tiempo real para el análisis de variables térmicas y de flujo. El proyecto contempla el diseño mecánico en SolidWorks, la manufactura mediante maquinaria CNC y el diseño eléctrico en EPLAN, incorporando controladores industriales y comunicación a través de protocolos IO-Link e Industrial Ethernet. La implementación de este sistema permite determinar coeficientes de transferencia de calor y evaluar el desempeño térmico, contribuyendo a la optimización de procesos de intercambio de calor en la industria alimenticia.

Palabras claves: Ethernet Industrial, intercambiador tipo serpentín, IO Link.

Abstract.

This article presents the design, construction, and automation of a coil-type heat exchanger. It was developed with an Industry 4.0 approach, integrating real-time monitoring and control technologies for the analysis of thermal and flow variables. The project includes mechanical design in SolidWorks, manufacturing using CNC machinery, and electrical design in EPLAN, incorporating industrial controllers and communication via IO-Link and Industrial Ethernet

protocols. The implementation of this system allows for the determination of heat transfer coefficients and evaluation of thermal performance, contributing to the optimization of heat exchange processes in the food industry.

Keywords: Coil type exchanger, Industrial Ethernet, IO Link.

1. Introducción.

Los intercambiadores de calor son dispositivos utilizados en numerosas industrias para transferir calor de un fluido a otro. Estos intercambiadores son esenciales para mantener la eficiencia y la seguridad en procesos industriales que requieren control de temperatura, (Cengel, 2023).

La transferencia de calor es un concepto fundamental de la termodinámica, esencial para comprender diversos procesos industriales incluidos los sistemas de aire comprimido.

En este artículo analizará las tres formas principales en las que se transfiere el calor: por conducción, por convección y por radiación, y su importancia en diferentes aplicaciones.

Transferencia por conducción: La conducción es la transferencia de calor a través de un material sólido. Se produce cuando las moléculas de una sustancia vibran y transfieren energía a las moléculas adyacentes. Es un proceso fundamental en muchas aplicaciones industriales en las que los materiales necesitan conducir el calor de forma eficaz.

Transferencia por convección: La convección es la transferencia de calor por el movimiento de fluidos (líquidos o gases). Este tipo de transferencia de calor es fundamental en sistemas en los que es necesario el movimiento de fluidos para que el calor se distribuya de manera uniforme.

Transferencia por Radiación: La radiación es la transferencia de calor a través de ondas electromagnéticas. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere ningún medio y puede producirse en un espacio vacío.

El llamado principio cero de la termodinámica es el que explica el funcionamiento del intercambiador de calor. Según este, cuando dos objetos (en nuestro caso, fluidos) a distinta temperatura entran en contacto, se produce una transferencia de calor entre ambos hasta que se llega al equilibrio térmico, es decir, hasta que sus temperaturas se igualan. Esto es perfectamente consecuente con la ley de la conservación de la energía, puesto que el flujo de calor también es una transferencia de energía y, por tanto, no es que el calor desaparezca, sino que fluye hacia el elemento con menor temperatura.

Los intercambiadores de calor (en su gran mayoría) fuerzan 3 transferencias de calor, los cuales se verán a continuación, (Atlas Copco, 2025).

- Convectiva: El fluido caliente transmite su calor a la pared interna del tubo o de la placa.
- Conductiva: La que se produce a través de la propia placa o tubo.
- Convectiva: En este caso, el calor se transmite desde la parte externa del tubo o placa al fluido con menor temperatura.

Los sensores y actuadores están evolucionando rápidamente. Ya no solo transfieren datos a través de interfaces analógicas y binarias estándares, ahora también son cada vez más inteligentes gracias a los microprocesadores incorporados. Estos dispositivos establecen las bases para una inteligencia adicional del dispositivo que trasciende de la función real del sensor. Además de transferir los valores medidos y las señales de conmutación, los sensores IO-Link pueden almacenar parámetros y proporcionar información adicional sobre aspectos como la calidad de la señal y el estado del dispositivo, (Pepperl + Fuchs, 2025).

Ignition Software de Automatización Industrial es una plataforma desarrollada por Inductive Automation que permite integrar y supervisar sistemas industriales de manera eficiente y escalable. Lanzado en 2010, Ignition es una solución

basada en tecnología SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) y HMI (Interfaz Hombre-Máquina), diseñada para mejorar la productividad y flexibilidad en entornos industriales, (Autexopen, 2025).

2. Métodos.

La metodología adoptada en este trabajo se basa en un enfoque experimental, orientado al diseño y automatización de un prototipo de intercambiador de calor para fines didácticos, enfocado en la enseñanza de los principios de transferencia térmica. El desarrollo contempla la integración tecnológica completa, desde las bombas impulsoras de los fluidos y sus dispositivos de control, hasta la instrumentación electrónica encargada de la medición de variables como temperatura, flujo volumétrico y nivel, utilizando un controlador industrial y un sistema de supervisión y adquisición de datos.

Intercambiador de calor serpentín.

Un serpentín de enfriamiento y calentamiento es un dispositivo utilizado en la industria para controlar la temperatura de líquidos contenidos en tanques. Consiste en un conjunto de tubos enrollados o dispuestos en forma de espiral que se instalan dentro del tanque. Este sistema permite la circulación de un fluido caliente o frío a través de los tubos del serpentín, transfiriendo calor al líquido contenido en el tanque para calentarlo o absorber calor para enfriarlo, según sea necesario. Los serpentines son fundamentales en numerosos procesos industriales donde se requiere mantener una temperatura específica para garantizar la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

Funcionamiento básico del serpentín.

El diseño de serpentines de enfriamiento es un proceso clave en la industria, donde se aplican los principios fundamentales de transferencia de calor para garantizar un funcionamiento eficiente. Los serpentines de enfriamiento están compuestos por varias partes, incluyendo tubos, aletas y conexiones, que trabajan en conjunto para facilitar el intercambio de calor. En el caso específico de un serpentín de enfriamiento de aceite, su diseño se adapta para garantizar una disipación efectiva del calor generado por el aceite en el proceso industrial.

Las partes de un serpentín de enfriamiento típicamente incluyen tubos de diferentes diámetros y longitudes, dispuestos en configuraciones específicas para maximizar el contacto con el fluido que se está enfriando. Además, las aletas se añaden a los tubos para aumentar la superficie de transferencia de calor, lo que mejora la eficiencia del enfriamiento. Estas partes trabajan en conjunto para facilitar el proceso de enfriamiento, donde el calor del fluido se transfiere al serpentín y luego se disipa hacia el entorno circundante.

Por otro lado, en el proceso de calentamiento, el serpentín de enfriamiento de aceite opera de manera inversa. El fluido caliente circula a través de los tubos del serpentín, transfiriendo calor al aceite y elevando su temperatura según lo requerido por el proceso industrial. En ambos casos, el diseño adecuado del serpentín de enfriamiento es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo y una larga vida útil del equipo, lo que contribuye significativamente a la eficiencia y la rentabilidad de la operación industrial, (Grupo Acura, 2025).

Una representación de este tipo de sistema se muestra en la figura 1.



Figura 1. Esquema intercambiador de calor tipo serpiente.

LMTD (Diferencia media logarítmica de temperaturas).

Un intercambiador de calor (IC) es un dispositivo que recupera calor de una corriente de fluido a alta temperatura transfiriéndolo a una corriente de temperatura inferior. Así se puede plantear un modelo simplificado que no se considere cómo están contruidos los intercambiadores, es decir, no importa si están ensamblados con placas o tubos, ni otros detalles de construcción.

En este modelo simplificado, un IC se describe con dos flujos: el de temperatura mayor se llamará “flujo caliente” y el de temperatura inferior, “flujo frío”, y con cuatro temperaturas, dos de entrada y dos de salida. En un IC hay dos espacios, y en cada uno circula uno, y solo uno de los flujos. A estos espacios se les llamará “interno” y “externo”, sin importar si el fluido que circula en cada uno de ellos corresponde al flujo frío o al flujo caliente.

La cantidad de calor (Q), que transfiere un IC depende del coeficiente de transferencia global (U), de las temperaturas de entrada y salida de las corrientes, y de la configuración. El método LMTD (siglas en inglés de Logarithmic Mean Temperature Difference) relaciona el área de transferencia, la transferencia de calor, y las temperaturas de entrada y salida usando cuatro simplificaciones:

- El intercambiador opera en estado estacionario.
- El coeficiente U se asume constante en todo el intercambiador.
- Las pérdidas de calor hacia los alrededores son despreciables.
- Se conocen las cuatro temperaturas de entra y salida de las corrientes del intercambiador.

Para exponer la deducción del método LMTD se usa un intercambiador 1 -1, pero el procedimiento es análogo para otras configuraciones. El flujo de calor depende de la diferencia de temperatura Δt entre las dos corrientes en circulación:

$$Q = U * A * \Delta t \quad (1)$$

Δt = Es una diferencia de temperatura

U = Es el coeficiente global de transferencia de calor.

Haciendo uso de letras mayúsculas y minúsculas para diferenciar las corrientes implicadas en el balance de energía:

$$dQ = U * (T - t) * dA \quad (2)$$

$$dQ = W * Cp * dT = w * cp * dt \quad (3)$$

Donde:

W, w = Flujos máxicos de ambos fluidos

Cp, cp = Capacidades caloríficas de ambos fluidos

Para este desarrollo se supone que el intercambiador opera en contracorriente:

$$\int_{T_2}^T W * Cp * dT = \int_{t_1}^t w * cp * dt \quad (4)$$

Integrando y despejando se obtiene:

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)} \quad (5)$$

Sustituyendo en la ecuación (1), se obtiene:

$$Q = U * A * LMTD \quad (6)$$

Para intercambiadores tipo 1-2, 2-4, etc., es necesario corregir la ecuación (6), para seguir utilizando la LMTD, es decir:

$$Q = U * A * F_T * LMTD \quad (7)$$

Donde F_T es un factor de correlación que depende del tipo de intercambiador (1-2, 2-4, etc.). Puede ser calculado o encontrado en tablas.

Método KERN.

Este método está concebido, en principio, para intercambiadores sin cambio de fase; incluye correlaciones para calcular la transferencia de calor y la caída de presión. El orden de los cálculos depende de la naturaleza del problema.

- Para un problema de dimensionamiento, el primer paso es estimar A (área de transferencia) con base en un valor aproximado del coeficiente de transferencia global U (se encuentran tabulados), Luego se Proponen las dimensiones del intercambiador y, por último, se usa el método de Kern u otro método equivalente de diseño para recalculer el área. Si el valor requerido de A es menor que el propuesto, el diseño es válido, ya que siempre se busca que el Intercambiador esté sobredimensionado.
- Para un problema de evaluación, el área está fijo. Si existen las condiciones de operación, incluidas las temperaturas de entrada y salida, se puede calcular el A requerida; si es menor que el área del intercambiador, la operación en esas condiciones es viable. El otro caso posible es la estimación de las temperaturas de salida mediante el método NTU.

Las correlaciones se emplean de acuerdo con el tipo de intercambiador:

- Cuando el intercambiador no tiene baffles, se utiliza el modelo de intercambiador de doble tubo, cambiando el diámetro equivalente en la coraza. Se considera que este tipo de IC es una derivación del tipo doble tubo.
- Para intercambiadores con baffles, se emplean correlaciones particulares para el lado de coraza.

El método de Kern, el coeficiente global de transferencia se obtiene despreciado la resistencia de la pared del tubo y agregando el factor de obstrucción.

- Área interna:

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o * \left(\frac{d_o}{d_i}\right)} + R_D \quad (8)$$

- Área externa:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o * \left(\frac{d_o}{d_i}\right)} + R_D \quad (9)$$

Las correlaciones sugeridas para h_i son:

- Las correlaciones ϕ por temperatura de la pared se utiliza sobre todo para fracciones de petróleo.
- Cuando hay que calcular t_w (temperatura de pared) es necesario iterar, pero a menudo se converge en la primera iteración.
- En régimen laminar, $100 < Re < 2100$, no válida para agua.

$$h_i = 1.86 * \left(\frac{k}{D}\right) * \left(\frac{4 * W * C}{\pi * k * L}\right)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_c}\right)^{0.14} \quad (10)$$

En régimen turbulento, $Re \geq 2100$, no válida para agua:

$$h_i = 0.0027 * \left(\frac{k}{D}\right) * (Re)^{0.8} * (Pr)^{\frac{1}{3}} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (11)$$

El término $\phi = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$ es la correlación por la temperatura de pared. En algunos casos, cuando la dependencia de la viscosidad respecto a la temperatura no es significativa, se puede despreciar.

- Para agua, se da una correlación gráfica de h en función de la velocidad lineal V para tubos de $\frac{3}{4}$ BWG. También hay gráficas de correlación para otros diámetros de tubería (Figura 3).
- Para un arreglo en cuadro:

$$D_e = 4 * \frac{PT^2 * \left[\left(\frac{d_o^2}{4}\right)\right]}{\pi * d_o} \quad (12)$$

- Para un arreglo triangular (equilátero):

$$D_e = 4 * \frac{\left[\left(\frac{PT}{2}\right) * \left(\frac{\sqrt{3} * PT}{2}\right)\right] - \left[\left(\frac{\pi}{2}\right) * \left(\frac{d_o^2}{4}\right)\right]}{\frac{(\pi * d_o)}{2}} \quad (13)$$

El Número de Reynolds se calcula haciendo:

$$Re = \frac{D_e * G_s}{\mu} \quad (14)$$

Donde:

$$G_s = \frac{w}{a_s} \quad (15)$$

$$a_s = \frac{D_s * C * B}{PT} \quad (16)$$

Donde:

D_s = Diámetro interno de la coraza

PT = es el pitch la separación entre los centros de los tubos

B = es la separación entre deflectores

Si hay más de un paso por la coraza, a_s se divide en el número de pasos.

La aplicación de la correlación por temperatura de pared requiere calcular iterativamente t_w en la forma de la ecuación:

$$t_w = t_i + \left[\left(\frac{h_o}{h_{i_o} + h_o}\right) * (t_o - t_i)\right] \quad (17)$$

Para la primera iteración se utiliza los valores de $\frac{h_o}{\phi_o}$, h_{i_o}/ϕ_{i_o}

La caída de presión de por los tubos tiene dos contribuciones

ΔP_L = la caída de presión por el recorrido del fluido en los tubos.

ΔP_a = la caída de presión por los accesorios

Así:

$$\Delta P = \Delta P_L + \Delta P_a \quad (18)$$

Para intercambiadores de doble tubo, se desprecia ΔP_a por el tubo interior. Para estimar ΔP_L se puede aplicar la ecuación de Fanning u otras correlaciones para f en la expresión:

$$\Delta P_L = f * \left(\frac{4 * G^2 * L}{2 * \rho * D * \phi} \right) \quad (19)$$

Esto también es válido para el espacio anular entre tubos concéntricos, o coraza sin baffles.

$$\Delta P_L = f * \frac{4 * G^2 * L}{5.22 * 10^{10} * D_e * s * \phi} \quad (20)$$

Donde:

P = es la presión en PSI.

s = es la gravedad específica

f = factor de fricción en unidades consistentes con G en $\frac{lb}{h * ft^2}$

D_e = diámetro equivalente (depende del arreglo en los tubos)

L = es la longitud de los tubos en ft

El término ΔP_a depende del número de pasos (n); así, para IC de tubos y coraza.

$$\Delta P_a = (4 * n) * \left(\frac{G^2}{2 * \rho} \right) \quad (21)$$

Para la caída de presión por la coraza, con baffles se sugiere la expresión.

$$\Delta P = f * \frac{4 * G_s^2 * D_s * (N_B + 1)}{2 * \rho * D_e * \phi} \quad (22)$$

Donde:

L/B es el número de baffles calculado, también se puede obtener de la expresión.

$$f = 1.7424 * (Re)^{-0.19} \quad (23)$$

Alternativamente se puede usar la misma ecuación con P en PSI.

$$\Delta P = f * \frac{G_s^2 * D_s * (N + 1)}{5.22 * 10^{10} * D_e * s * \phi} \quad (24)$$

Donde f está correlaciona en forma gráfica, o se puede calcular como $f = 0.0121 * (Re)^{-0.19}$.

Para el diseño y fabricación de calor tipo serpentin, se tomó en cuenta equipos de la más alta calidad, que satisfagan las necesidades requeridas

Se utilizó material de policarbonato como material para la carcasa y las bridas, se utilizó este material por sus características ya que es termoplástico de alta ingeniería, este material es empleado en aplicaciones industriales gracias a sus propiedades mecánicas, térmicas y ópticas.

Principales propiedades del policarbonato:

Alta resistencia al impacto: La resistencia del policarbonato es hasta 200 veces mayor que las del vidrio

Transparencia óptica: El policarbonato tiene una muy buena claridad visual, esto nos ayuda a poder visualizar al interior del sistema

Estabilidad térmica: Su temperatura máxima de uso continuo es de unos 130 °C sin que tenga deformaciones.

Medidas y fabricación de las bridas.

Para el intercambiador de calor, se usó las bridas, ya que este es fundamental en la unión y sellado de componentes. Las bridas permiten hacer las conexiones de forma estanca el tubo o serpentín del intercambiador, evitando así fugas en los fluidos, de igual manera mantienen alineados el haz de tubos y las tuberías de entrada y salida para el correcto paso de fluidos.

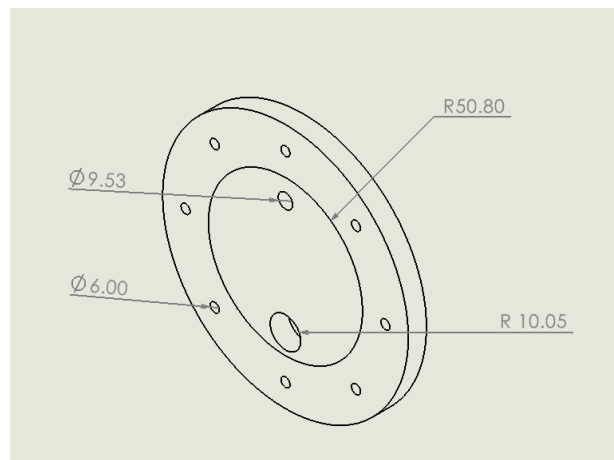


Figura 2. Vista isométrica y medidas de las bridas.

Para el diseño de la siguiente brida se consideró la facilidad de montaje y desmontaje. Esto es posible gracias a que las bridas están atornilladas y pueden desarmarse con facilidad, lo que permite extraer el serpentín para inspección, limpieza o reparación sin dañar las tuberías.

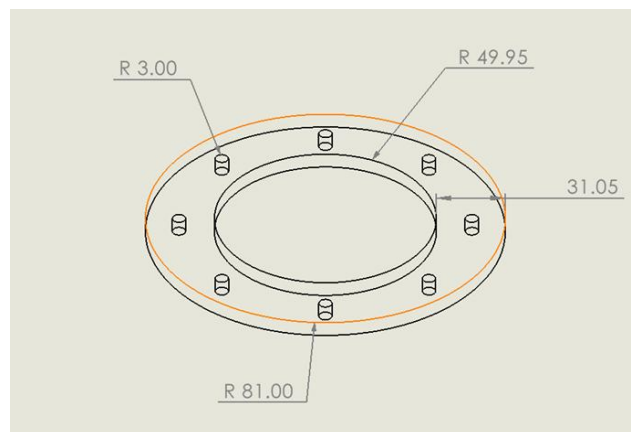


Figura 3. Medidas exactas de las bridas.

La carcasa del intercambiador de calor fue fabricada de policarbonato, lo cual se mencionó sus propiedades anteriormente, este tuvo actúa como el recipiente principal del serpentín de cobre, permitiendo la contención y visualización del fluido que circula por el sistema.

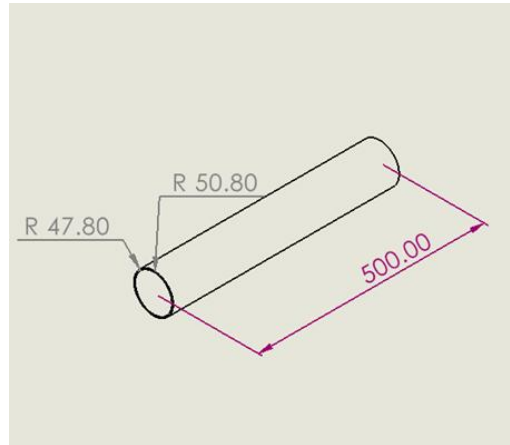


Figura 4. Medidas exactas de la carcasa.

Fabricación y medidas del serpentín.

Para el interior de nuestro sistema de intercambiador de calor se seleccionó el cobre como material para la fabricación del serpentín. Esta decisión se tomó principalmente por sus excelentes propiedades de resistencias térmicas, por su resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación, por los casos mencionados anteriormente, este se convierte en el perfecto material para la fabricación del serpentín, ya que es uno de los materiales más adecuados para aplicaciones en el intercambio de calor.

A continuación, se mencionarán algunas propiedades del cobre.

Alta conductividad térmica: El material de cobre se sitúa entre 372.1 y 385.2 w/(m*K) lo cual nos permite una transferencia de calor muy eficiente entre el fluido que circula por el medio externo y el que pasa por el serpentín, esto es muy importante para poder lograr un sistema térmica correcta y eficaz.

Resistencia a la corrosión: El cobre es uno de los metales que cuenta con mayor resistencia a la corrosión, es decir, no se oxida ni deteriora fácilmente. Esto, gracias a una película protectora que crece naturalmente a su alrededor en determinados medioambientes.

Propiedades antimicrobianas: “Básicamente el cobre genera radicales libres que dañan el ADN o el ARN de las bacterias o virus, impidiéndoles replicarse”.

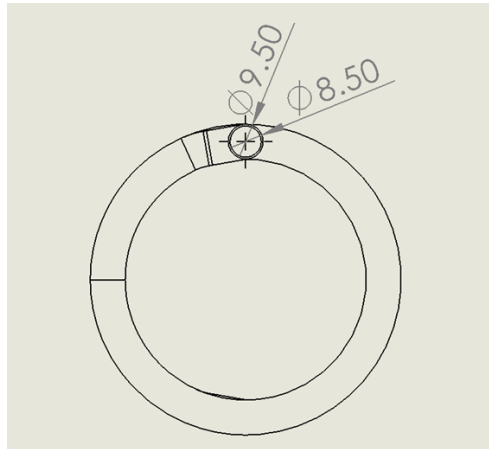


Figura 5. Medidas del serpentín.

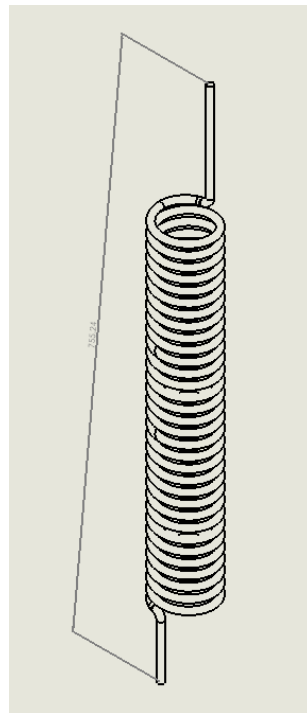


Figura 6. Vista derecha del serpentín.

Inicialmente se consideró la posibilidad de calentar el tubo de cobre para facilitar el doblado. Sin embargo, durante las primeras pruebas se observó que el material sufría deformaciones indeseadas, como aplanamientos y pérdida de sección transversal, lo cual afectaba negativamente la eficiencia del flujo y la estética del diseño.

Por esta razón, se optó por una técnica de doblado progresivo en frío, es decir, sin aplicar calor.



Figura 7. Doblado de tubo para la fabricación del serpentín.

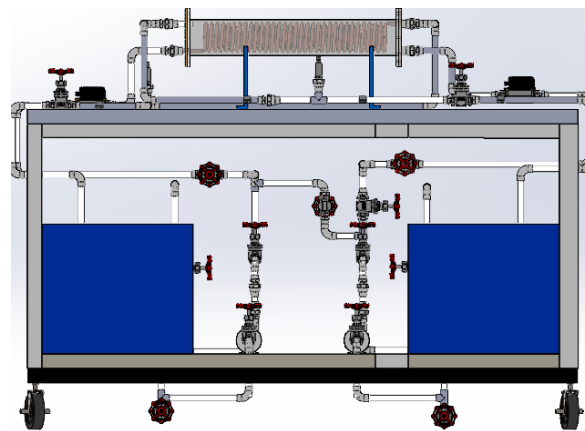


Figura 8. Vista frontal del intercambiador de calor.

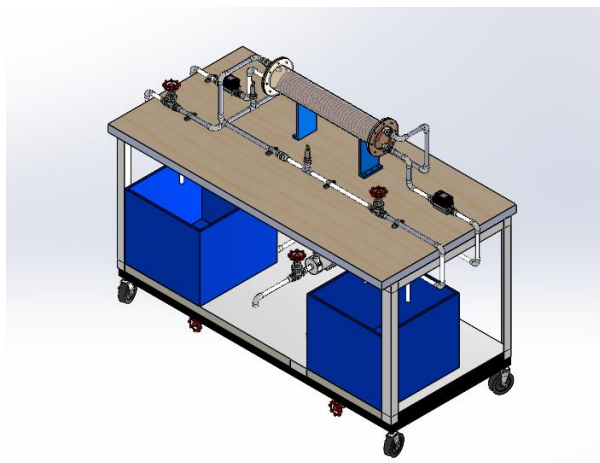


Figura 9. Vista isométrica del intercambiador de calor.

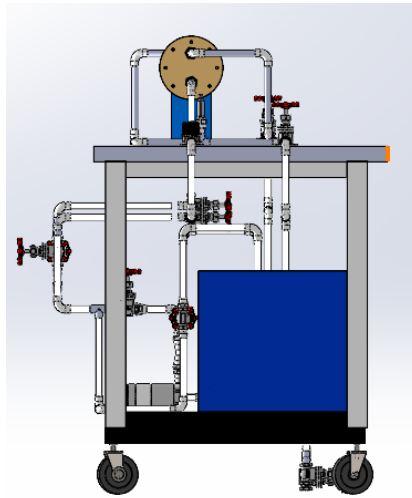


Figura 10. Vista izquierda del intercambiador de calor.

Diseño del sistema de automatización, la Red profinet y IO Link.

IO-Link es una tecnología de comunicación estandarizada e independiente del fabricante para sensores y actuadores. Está estandarizada de acuerdo con la norma IEC 61131-9 y es compatible con cualquier bus de campo del mercado. Incluso los sensores y actuadores más sencillos pueden proporcionar señales de conmutación, identificación y datos de diagnóstico en toda la estructura de la planta a través de un cable estándar de tres núcleos sin apantallamiento. Esto crea una comunicación bidireccional coherente entre el sistema de control y el nivel más bajo de sensor/actuador.

En todo el mundo, las empresas de todas las industrias apuestan cada vez más por las avanzadas tecnologías de procesamiento de datos e información para mejorar la eficiencia de todo el sistema. En estos casos, nunca falta IO-Link. Esta innovadora tecnología permite a los sensores transmitir información de diagnóstico al PLC y, al mismo tiempo, al sistema informático de nivel superior, (IFM, 2025).

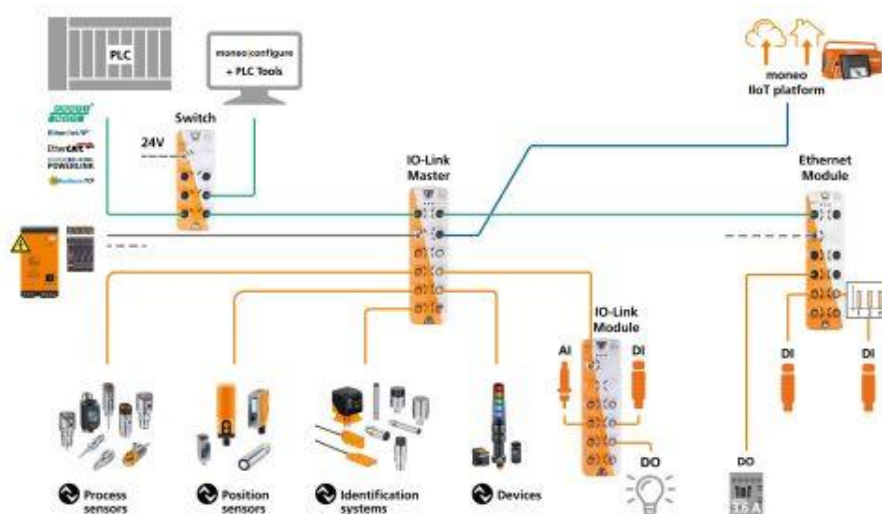


Figura 11. Arquitectura de Comunicación Industrial con IO-Link.

Una vez haciendo las configuraciones correctas desarrollado en el software CAD SolidWorks, se avanza a la etapa de manufactura asistida por computadora (CAM) donde se genera el código G para la correcta ejecución del proceso de fabricación en una maquina CNC.

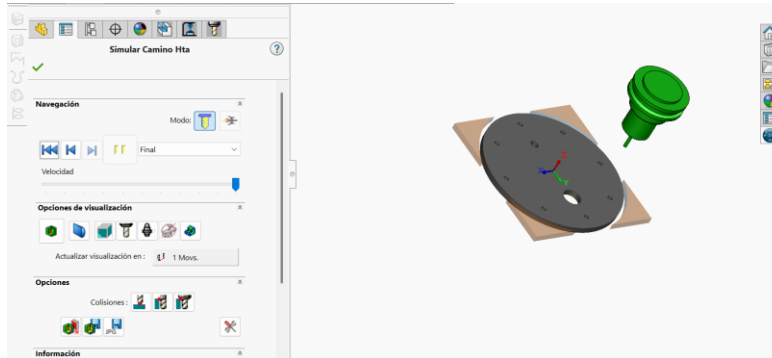


Figura 12. Desarrollo Cad de las partes del intercambiador de calor.

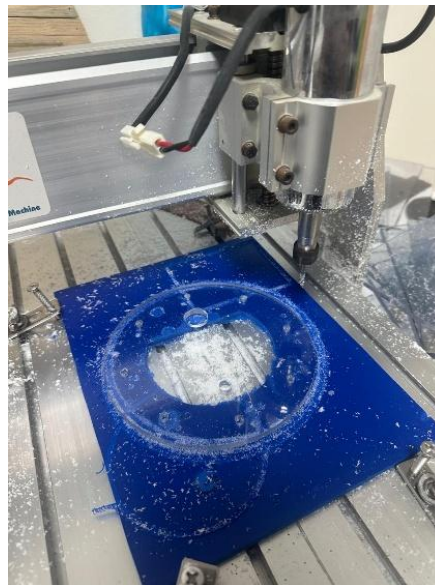


Figura 13. Manufactura en maquina CNC.

Una vez teniendo las bridas y las tapas mediante manufactura CNC, se procedió a medir y cortar el tubo de policarbonato (carcasa). Con apoyo del adhesivo y la lampara de luz UV, se adhieren las bridas y las tapas, lo cual se requirió 2 días de exposición solar.



Figura 14. Corte del tubo de policarbonato.

Para poder presentar con éxito el equipo construido, se utilizó una mesa de acero inoxidable, de igual manera se utilizaron tanques de almacenamiento la cual se le hicieron algunas perforaciones para poder adaptar el equipo con las necesidades requeridas.

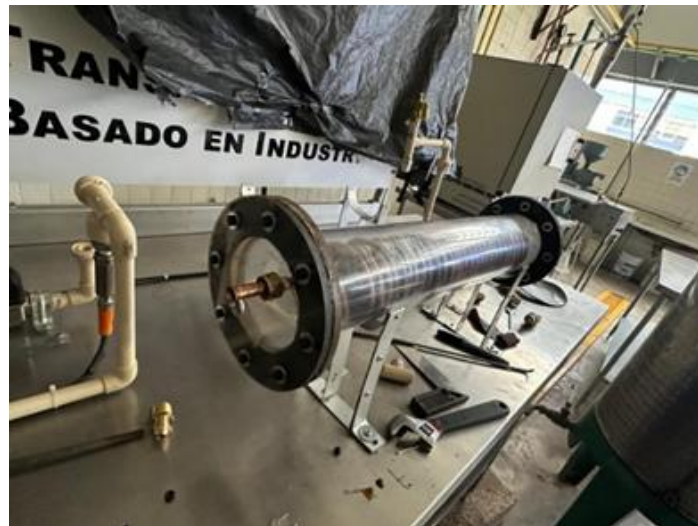


Figura 15. Ensamble del intercambiador de calor.

Para la realización de las conexiones se utilizó tubo CPVC de 1/2 pulgada, debido a que este material presenta buena resistencia a la presión y a la temperatura, además de ser ligero y fácil de instalar. El CPVC es adecuado para aplicaciones hidráulicas e industriales porque no se oxida ni se corroe, garantizando un flujo confiable en el sistema. Este tubo se usó tanto como en intercambiador de calor tipo serpentín y tubos y coraza.



Figura 16. Ensamble final del intercambiador de calor tipo serpentin.

Interfaz de supervisión en Ignition para el análisis térmico del intercambiador tipo serpentin.

Se realizó una interfaz básica desarrollada en el software Ignition, en la cual se puede visualizar en tiempo real los parámetros de operación del intercambiador de calor tipo serpentin. En la siguiente imagen se puede visualizar las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos involucrados en el proceso de intercambio térmico.

Pantalla principal en Ignition que permite seleccionar la visualización del proceso en tiempo real o las gráficas de tendencias de temperatura y flujo.



Figura 17. Pantalla Principal de ignition.

Resultados.

Monitoreo de temperaturas y caudal.

En la siguiente imagen se visualiza que en el fluido caliente (flujo 1) ingresa al sistema con una temperatura inicial de 54.2°C y tras recorrer por el intercambiador de calor, se reduce a 42.3°C en la salida, con esto se observa una disminución de 11.9°C . Este comportamiento confirma la transferencia de energía térmica desde el fluido caliente hacia el fluido frío a través de la superficie de intercambio.

Por otra parte, el fluido frío ingresa con una temperatura de 30.3°C y alcanza un valor de 35.9°C a la salida, confirmando el incremento de energía absorbida durante el proceso de intercambio.

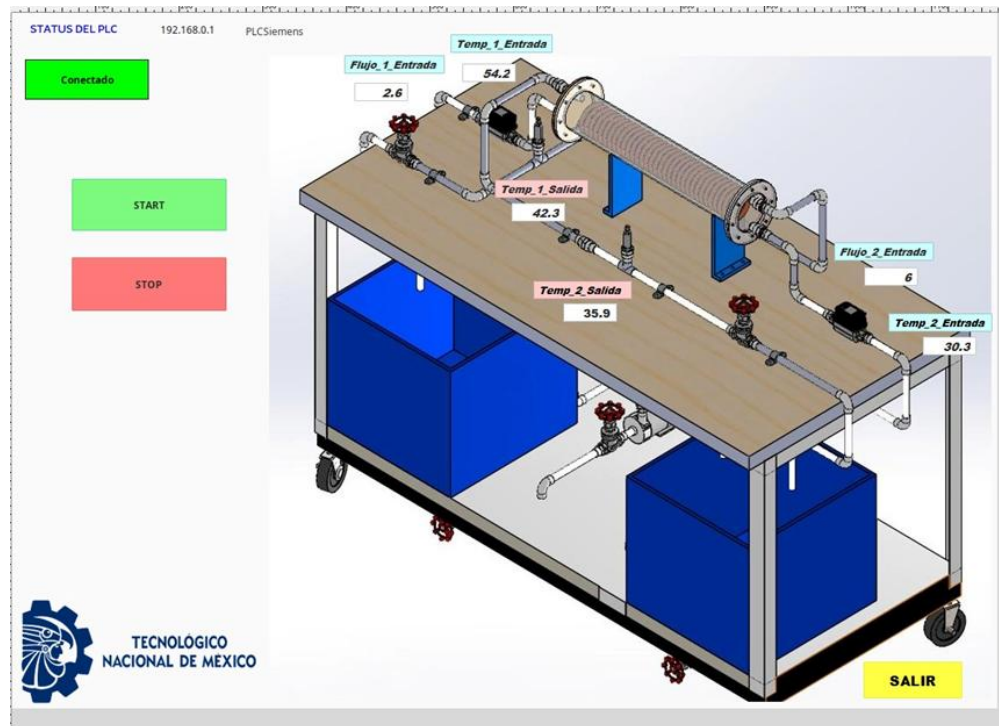


Figura 18. Monitoreo de temperaturas y caudal.

Comportamiento térmico del intercambiador de calor.

En las pruebas experimentales realizadas, se observó el cambio de temperaturas, el fluido que circula por el serpentín presentó una disminución de temperatura conforme avanzó en su recorrido, lo cual nos indica que cedió energía térmica. En la prueba 2, cuando la temperatura de entrada alcanzó los 40°C , la salida se registró en 33.5 , lo cual nos muestra una pérdida de calor significativa.

Por otra parte, el fluido en la coraza inicialmente ingresó con una temperatura de 26°C , mostró un incremento significativo en la salida, llegando hasta 38.4°C en las últimas pruebas.

Tabla 1. Pruebas experimentales.

Pruebas	Entrada_Serpentin	Salida_serpentin	Entrada_Tubo_Exterior	Salida_Tubo_Exterior	Flujo_1	Flujo_2
1	31.9°C	29.6°C	25.7°C	27.1°C	3	5
2	40°C	33.5°C	26.1°C	29.4°C	2.8	6
3	47.9°C	38.5°C	26.2°C	32.2°C	3.1	6
4	54.6°C	42.5°C	26.3°C	34.7°C	3.2	6
5	69.2°C	51.5°C	27°C	38.4°C	3	6

Por lo tanto, de manera general, los resultados obtenidos confirman que el sistema funciona de manera adecuada, ya que, el fluido caliente transfiere calor al fluido frío, el cual es el objetivo principal del equipo.

Se realizó cálculos teóricos del intercambiador de calor tipo serpentin empleando el método de la diferencia logarítmica de temperatura (LMTD), posteriormente se llevaron a cabo las pruebas experimentales para obtener las temperaturas reales de salida tanto caliente como del fluido frío.

A continuación, se presentan los cálculos realizados.

Tabla 2. Datos.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Temperatura de entrada al serpentín	31.9	°C	Fluido caliente
Temperatura de entrada a la carcasa	25.7	°C	Fluido frío
Caudal del serpentín	3	L/min	Fluido caliente
Caudal de la carcasa	5	L/min	Fluido frío
Diámetro interior del serpentín	8.50	mm	Tubo de cobre
Diámetro exterior del serpentín	9.50	mm	Tubo de cobre
Radio interior de la carcasa	47.80	mm	Carcasa cilíndrica
Radio exterior de la carcasa	50.80	mm	Carcasa cilíndrica
Longitud de la carcasa	500	mm	0.5 m
Número de vueltas del serpentín	28	vueltas	-
Longitud total del serpentín	7.5	m	-
Fluido usado	Agua	-	-

Serpentín (Fluido caliente):

$$Caudal \dot{v}_h = \frac{3L}{min} = \frac{0.003m^3}{min} = 5 * \frac{10^{-5}m^3}{s} \text{ (recordemos que } 1l = 0.001m^3)$$

Carcasa (fluido frío).

$$Caudal \dot{v}_c = 5L/min = 8.33 * 10^{-5}m^3/s$$

Serpentín.

$$Diametro interno: 8.5 \text{ mm}, \rightarrow \text{radio interno } r_i = 0.00425m; \rightarrow \text{Longitud: } L = 7.5m$$

Carcasa.

radio interior: 47.8 mm = 0.0478m
 radio exterior: 50.8mm = 0.0508
 Longitud: 0.5m

Propiedades del agua.

$$\text{Densidad } \rho = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{calor específico } C_p = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Conversión de caudales a kg/s.

$$\dot{m}_h = \rho * \dot{v}_h = 997.5 * 10^{-5} \approx 0.04985 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_c = \rho * \dot{v}_c = 997.833 * 10^{-5} \approx 0.083 \text{ kg/s}$$

Área de transferencia del serpentín.

Para un tubo cilíndrico, el área externa es:

$$A = \pi * D_0 * L$$

$$D_0 = 0.0095\text{m} \rightarrow L = 7.5\text{m}$$

$$A = \pi * 0.0095 * 7.5 \approx 0.224\text{m}^2$$

Coficiente global de transferencia U.

Para un cálculo rápido simplificado con agua:

$$\text{Agua a agua, flujo interno turbulento} \approx U \approx 500\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Capacidad térmica de los fluidos.

$$c_h = \dot{m}_h * C_p = 0.04985 * 4180 \approx 208\text{W}/^\circ\text{C}$$

$$c_c = \dot{m}_c * c_p = 0.083 * 4180 \approx 347\text{W}/^\circ\text{C}$$

Factor de capacidad.

$$c_{min} = 208\text{W}/^\circ\text{C} \rightarrow c_{max} = 347\text{W}/^\circ\text{C}$$

$$C_r = \frac{c_{min}}{c_{max}} \approx 0.559$$

Numero de unidades de transferencia NTU.

$$NTU = U * \frac{A}{c_{min}} = \frac{500 * 0.224}{208} \approx 0.538$$

Eficiencia del intercambiador.

Para flujo en contracorriente, la eficiencia.

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - c_r)]}{1 - c_r * \exp[-NTU(1 - c_r)]}$$

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-0.538(1 - 0.599)]}{1 - 0.599 \exp[-0.538(1 - 0.599)]} = \frac{0.194}{0.517} \approx 0.375$$

Transferencia de calor.

$$Q = \epsilon * C_{min} * (T_{h,in} - T_{c,in})$$

$$Q = 0.375 * 208 * (31.9 - 25.7) = 0.375 * 208 * 6.2$$

$$208 * 6.2 = 1289.6$$

$$Q = 0.375 * 1289.6 \approx 483.6W$$

Temperaturas de salida.

$$T_{h,out} = T_{h,in} - \frac{Q}{C_h} = 31.9 - \frac{483.6}{208} \approx 31.9 - 2.32 \approx 29.58^{\circ}C$$

$$T_{c,out} = T_{c,in} + \frac{Q}{C_c} = 25.7 + \frac{483.6}{347} \approx 25.7 + 1.39 \approx 27.09^{\circ}C$$

Al observar las temperaturas de salida de la prueba 1 (figura), se obtuvo una gran similitud entre ambos, lo que confirma que el modelo teórico empleado representa adecuadamente el comportamiento térmico del sistema.

Visualización integrada de variables de entrada y salida en tiempo real.

Para una mejor interpretación, se realizó una gráfica conjunta en la que se muestra simultáneamente las temperaturas de entrada y salida. Esto nos permite observar de manera directa la diferencia entre ambas señales y así poder comparar su comportamiento en el mismo intervalo de tiempo.



Figura 19. Gráfica simultanea de la temperatura.

Conclusiones.

El desarrollo del intercambiador de calor tipo serpentin cumplió satisfactoriamente con los objetivos de diseño y construcción, garantizando un flujo adecuado de los fluidos y un desempeño térmico eficiente. La selección de materiales —policarbonato para el tubo exterior y cobre para el serpentin— resultó decisiva gracias a sus propiedades de alta conductividad térmica y resistencia a la corrosión, factores que contribuyeron al buen funcionamiento del sistema.

La integración con la plataforma Ignition permitió un monitoreo básico en tiempo real de las variables térmicas, facilitando la visualización gráfica y el análisis del comportamiento del intercambiador. Esta herramienta se consolidó como un apoyo esencial para la interpretación precisa del proceso de transferencia de calor.

Durante las pruebas experimentales con agua, se registró una disminución de 11.9 °C en el fluido caliente y un incremento de 5.6 °C en el fluido frío, evidenciando la efectividad del sistema en la transferencia térmica, los valores reportados muestran que el fluido caliente cedió una cantidad significativa de calor, mientras que el fluido frío la absorbió de forma proporcional, validando que el intercambiador opera de acuerdo con los principios teóricos de la transferencia de calor por convección y conducción.

En síntesis, los resultados obtenidos confirman que el prototipo responde de manera coherente con los principios teóricos de transferencia de calor y cumple con la función para la cual fue diseñado, demostrando la viabilidad del diseño mecánico y su integración con sistemas de monitoreo industrial.

Referencias bibliográficas.

Atlas Copco (2025). *¿Cómo se transfiere el calor?* Recuperado de <https://www.atlascopco.com/es-mx/compressors/wiki/compressed-air-articles/thermodynamics-heattransfer>

Autexopen. (2025). *¿Qué es Ignition Software de Automatización Industrial y cuáles son sus características principales?* Recuperado de <https://www.autex-open.com/automatizacion-industrial/que-es-ignition-software-de-automatizacion-industrial-y-cuales-son-sus-caracteristicas-principales/#:~:text=caracter%20principales?%20%2D%20AUTEXOPEN-%20BFQu%20es%20Ignition%20Software%20de%20Automatizaci%20Industrial%20y%20cu%20A1les%20son.de%20licenciamiento%20sencillos%20y%20econ%20B3micos>

Cengel, Yunus A (2023). *Termodinámica*, cuarta edición, México D.F. Mc Graw Hill Pág. 269
https://www.academia.edu/38408494/Transferencia_De_Calor_y_Masa_4ta_ed_Cengel_McGraw_Hill

IFM. (2025). Resumen del sistema IO-Link. Recuperado 01 de agosto de 2025 de <https://www.ifm.com/es/es/shared/technologies/io-link-update/systemueberblick/resumen-del-sistema-io-link>

Grupo Acura. (2025). *Serpentín de enfriamiento y calentamiento para tanques industriales.* Recuperado 23 de abril de 2025 de <https://grupoacura.com/es/blog/serpentin-enfriamiento/>

Pepperl + Fuchs. (2025). *IO-Link: la tecnología de comunicación inteligente.* Recuperado de <https://www.pepperl-fuchs.com/es-es/support/technologies/io-link-communication-technology-gp32022#:~:text=Los%20sensores%20y%20actuadores%20est%20A1n%20evolucionando%20r%20A1pidamente.m%20A1s%20inteligentes%20debido%20a%20los%20microprocesadores%20incorporados>

Información de los autores.



Osbaldo Ysaac García Ramos, Ingeniero en Electrónica, es Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tiene Cursos especialización en Mecatrónica en Universidad de Esslingen Alemania, en la empresa Emco Salzburgo Austria, en la empresa Festo Estados Unidos y Festo México. Es académico de tiempo completo del Departamento de Eléctrica-Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Tiene 18 años de experiencia docente. Es profesor con perfil deseable PRODEP. Ha desarrollado proyectos de investigación siendo responsable técnico de desarrollo de proyectos financiados por CONACyT y empresas privadas. Cuenta con la certificación de Diseñador mecánico CSWA, CSWP, CSWP Avanzado por la empresa SolidWorks. Obtuvo premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 en Ingeniería Mecatrónica y es Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Con campos de interés en: Automatización de procesos, Industry 4.0, Tecnologías CAD-CAM-CAE, Instrumentación y control.



René Cuesta Díaz, Ingeniería Químico, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con la maestría en Ingeniería en Calidad del Agua en la Universidad Autónoma de Chiapas, Campus Ingeniería Civil. Ha realizado estudios en el área ambiental como, por ejemplo, elaboración de prototipos didácticos que brinden información para escalar en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se ha desempeñado en Instituciones de gobierno como la Secretaría de Ecología en proyectos de Cuenca Hidrológica en la parte de contaminación de ríos y, en la industria alimenticia en plantas embotelladoras de refrescos en plantas de agua purificada y procesos de envasado. Actualmente se desempeña en la docencia en el Instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Félix Eduardo Gómez Vázquez estudió licenciatura en Ingeniería electrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Realizó diversos proyectos que le permitieran desarrollar habilidades relacionadas a su área de estudio. Desarrollo un prototipo a escala nivel laboratorio de un intercambiador de calor de serpentín, proyecto que le permitió obtener el título de la licenciatura en Ingeniería electrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Aldo Esteban Aguilar Castillejos obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ing. Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG) en el 2011 y el título de Ingeniero en Electrónica en el mismo Instituto, con especialidad en Instrumentación y Control. Cuenta con la certificación CSWA, CSWP, CSWP Avanzado de SolidWorks; así como un Diplomado en el motor de desarrollo de videojuegos UNREAL, Diplomado en Microsoft Teams y Diplomado en competencias para la enseñanza de las ciencias. Acreedor al premio de desempeño a la excelencia EGEL 2018 y Miembro del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Chiapas. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación (PEI Conacyt) para empresas privadas, desarrollo de patentes con desarrollos tecnológicos en el Estado de Chiapas y fue parte del cuerpo de investigación de la

Universidad del Valle de México Campus Tuxtla hasta el 2022. Actualmente es parte del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes” del I.T.T.G. con desarrollos de proyectos financiados por CONACyT y el TecNM. Con campos de interés en: dispositivos opto-mecatrónicos, manufactura, sensores de fibra óptica, instrumentación y control.



José Ángel Zepeda Hernández es Ingeniero Industrial en Eléctrica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica, egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesor de tiempo completo en el área de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez e investigador desde 1999, Imparte cátedra en el área de Ingeniería Electrónica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica en el ITTG, donde imparte las asignaturas de Diseño con Transistores y Electrónica Básica respectivamente. Líder del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes”.



Alexis de Jesús Flores García es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG 2010); Maestro en Ciencias en Optomecatrónica por el Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO 2014). Es Técnico-Docente $\frac{3}{4}$ de tiempo en el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG). Tiene 10 años de experiencia docente y Diplomado en Microsoft Teams. Ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación financiados por TecNM. Cuenta con la certificación de Diseñador mecánico CSWA, CSWP por la empresa SolidWorks. Es profesor con perfil deseable PRODEP. Colaborador del cuerpo académico en formación “Sistemas de control inteligentes”. Es presidente de Academia de Ingeniería Electrónica y miembro de la Academia de Ingeniería Mecatrónica.