

# Desarrollo de intercambiador de calor para determinar los coeficientes individuales basado en Industry 4.0.

## Development of heat exchanger to determine individual coefficients based on Industry 4.0.

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

Rene Cuesta Díaz\* (2). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,  
[rene.cd@tuxtla.tecnm.mx](mailto:rene.cd@tuxtla.tecnm.mx).

Jorge Armando Gómez Salinas (3). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,  
[jorge.gs@tuxtla.tecnm.mx](mailto:jorge.gs@tuxtla.tecnm.mx).

Cristal Guadalupe Lozano Cruz (4). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,  
[119270525@tuxtla.tecnm.mx](mailto:119270525@tuxtla.tecnm.mx).

Carlos Ramón Alfonzo Santiago (5). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,  
[carlos.as@tuxtla.tecnm.mx](mailto:carlos.as@tuxtla.tecnm.mx).

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

\*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 05, 2024; aceptado en diciembre 20, 2024.

### Resumen.

*En el presente artículo se presenta el desarrollo de un intercambiador de calor de tubos y coraza para determinación en forma experimental de los coeficientes individuales transferencia de calor para un sistema de calentamiento de agua- solución de sosa cáustica usada en el lavado de botellas retornables en la industria refresquera, considerando dos variables importantes: flujo volumétrico y temperatura. Para su implementación se aplicó diseño térmico, diseño mecánico, manufactura mediante CNC, diseño eléctrico, diseño de la red Profinet y IO link. El sistema cuenta con dos depósitos uno de provisionamiento de líquido con temperatura a transferir y el otro con el líquido a atemperar, bombas centrifugas de impulsión, tuberías, conexiones hidráulicas de sensores, tanques, sistema de calentamiento, instrumentación electrónica y dispositivos de control que permiten representar el sistema utilizado en el lavado de botellas retornables en la industria refresquera.*

**Palabras claves:** Coeficientes individuales transferencia de calor, diseño mecánico, Eplan, flujo volumétrico, manufactura CNC.

## Abstract.

*This article presents the development of a tube and shell heat exchanger for experimental determination of the individual heat transfer coefficients for a water-caustic soda solution heating system used in washing returnable bottles in the soft drink industry, considering two important variables: volumetric flow and temperature. For its implementation, thermal design, mechanical design, CNC manufacturing, electrical design, Profinet network design and IO link were applied. The system has two tanks, one for supplying liquid with temperature to be transferred and the other with the liquid to be tempered, centrifugal pumps, pipes, hydraulic connections of sensors, tanks, heating system, electronic instrumentation and control devices that allow represent the system used in washing returnable bottles in the soft drink industry.*

**Keywords:** CNC manufacturing, Eplan, individual heat transfer coefficients, mechanical design, volumetric flow.

## 1. Introducción.

Un intercambiador de calor es un equipo que transfiere continuamente calor de un medio a otro. Hay dos tipos principales de intercambiadores de calor: directos e indirectos.

Intercambiador de calor directo, donde ambos medios están en contacto directo entre sí. Se da por sentado que los medios no se mezclan. Un ejemplo de este tipo de intercambiador de calor es una torre de enfriamiento, donde el agua se enfría a través del contacto directo con el aire.

Intercambiador de calor indirecto, donde ambos medios están separados por una pared a través de la cual se transfiere el calor. Los intercambiadores de calor indirectos están disponibles en varios tipos principales (placa, carcasa y tubo, espiral, etc.) (Alfa laval, 2024).

Aunque el principio de la transferencia de calor es el mismo independientemente del medio utilizado, debemos diferenciar las aplicaciones entre sí. La mayoría de las tareas se dividen en tres aplicaciones principales:

**Agua/Agua:** La mayor parte de intercambiadores de calor se utiliza para tareas de agua/agua, es decir, agua calentada o enfriada con agua. **Agua enfriada:** aquí se utiliza agua de menor temperatura, por ejemplo, de una torre de refrigeración, un lago, un río o el mar y **agua calentada:** aquí se utiliza agua con una temperatura más alta, por ejemplo, calefacción urbana, calderas o agua caliente para procesos.

**Agua/petróleo:** En algunas industrias, el petróleo tiene que ser enfriado usando agua. Esta agua puede ser conectada a un sistema de recuperación de calor que recupera el calor del petróleo para varios usos: Refrigeración de aceite hidráulico, Enfriamiento de aceite de enfriamiento, Refrigeración del aceite de motor en los bancos de pruebas de los motores.

**Agua/glicol:** Cuando hay riesgo de congelamiento, se agrega glicol al agua. El glicol tiene una capacidad calorífica diferente a la del agua y por lo tanto necesita un área de transferencia de calor algo mayor para realizar la misma tarea. Por otra parte, las propiedades físicas de los diversos glicoles son muy similares. Algunas aplicaciones usuales son: Como un intercooler en una bomba de calor, la producción de agua fría en los alimentos y refrigeración del aire acondicionado. (Alfa laval, 2024)

Un sistema de automatización de un intercambiador de calor consiste en la definición de la topología del sistema, selección de los sensores y actuadores necesarios, así como el diseño del funcionamiento del control de las diferentes bombas y equipos de campo. Todas estas variables están automatizadas a través de un PLC que permite controlar, entre otros parámetros: la velocidad de las bombas y el aporte de agua caliente o vapor al circuito, a través de válvulas reguladoras. (Gutiérrez Rojas, 2023)

La automatización consiste en el uso de tecnologías y metodologías con el objetivo de realizar de forma automática todas aquellas tareas que sean repetitivas sin necesidad, o con muy poca, intervención humana. Además de proveer toda la información necesaria para que los sistemas puedan autogestionarse y sea accesible si fuera necesaria intervención externa. Debido a la facilidad para ser implementada en los procesos más repetitivos, una de las formas de automatización más conocidas es el uso de tecnologías como PLCs o Bases de Datos para gestionar información, y en los últimos años se implementa basándose en la Industria 4.0.

En el desarrollo de este sistema se implementa un intercambiador de calor de tubos y coraza, el cual es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos a diferentes temperaturas, sin que estos se mezclen. Su funcionamiento se basa en la monitorización y control de diversas variables como temperatura y flujo volumétrico, utilizando sensores y sistemas de control automatizados que permiten mejorar el control del proceso y la seguridad operativa. Se podrá monitorear dos variables típicas de la ingeniería de procesos: flujo volumétrico y temperatura.

Se implementa así también sistema de monitoreo mediante HMI que permitirá realizar la visualización de coeficientes individuales térmicos y variables del proceso, todo esto basándose en protocolos de comunicación Profinet y IO-Link, los cuales son protocolos industriales que ayudan a obtener datos en tiempo real la adquisición de datos de manera fácil y rápida.

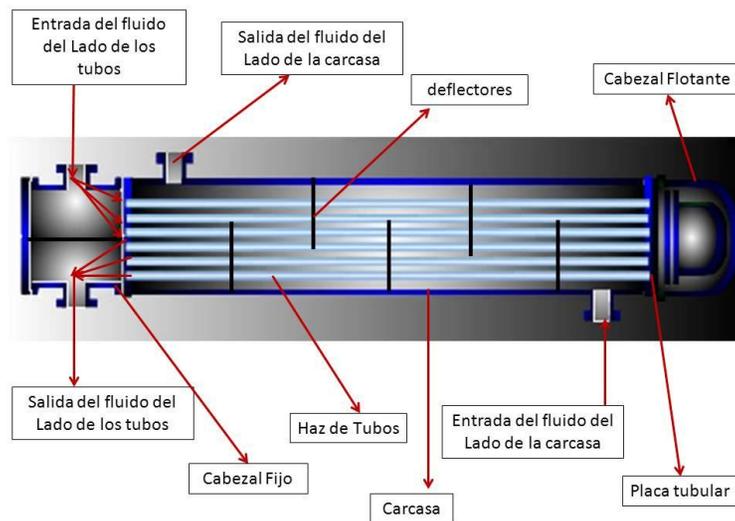
## 2. Métodos.

### **Intercambiador de calor tipo tubo y coraza.**

Este tipo de intercambiador de calor contiene un gran número de tubos empacados en un casco con sus ejes paralelos al de éste. El calor se trasfiere del fluido caliente al frío a través de la pared que los separa. “Están diseñados para la transferencia de calor entre dos fluidos dentro del dispositivo, por lo que normalmente la coraza externa está bien aislada para evitar cualquier pérdida de calor hacia el medio circulante”. (Cengel, 2023)

En situaciones donde se trabaja con grandes presiones el fluido de más presión va por los tubos y el fluido con menor presión circula por la coraza. Algunas de las características que destacan a los intercambiadores de calor de tubos y coraza de los otros equipos son las siguientes: Posee grandes superficies para transferencia de calor, los elementos que entran en la construcción de los intercambiadores son de carácter relativamente económicos porque resulta accesible la fabricación, mayormente utilizados en la industria, su proceso de manufactura es estandarizado por la asociación de fabricantes de intercambiadores tubulares (Cengel, 2023)

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



**Figura 1.** Esquema intercambiador de calor de tubos y coraza.

### 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  $\Delta t$  entre las dos corrientes en circulación:

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

$\Delta t$  = 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  $\phi$  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:

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

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  $\frac{h_o}{\phi_o}$ ,  $h_{i_o}/\phi_{i_o}$

La caída de presión de por los tubos tiene dos contribuciones

$\Delta P_L$  = la caída de presión por el recorrido del fluido en los tubos.

$\Delta P_a$  = 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  $\Delta P_a$  por el tubo interior. Para estimar  $\Delta P_L$  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  $\Delta P_a$  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  $f = 0.0121 * (Re)^{-0.19}$ .

### Diseño del intercambiador.

Para la realización del prototipo se tomaron en cuenta ciertas características, para el diseño y su construcción de acuerdo con los recursos establecidos y disponibles:

- La relación  $PT/d_e$  (distancia de los centros de los tubos/diámetro externo de los tubos) recomendable para un arreglo de tubos de 1.25 a 2 cm.
- La distancia entre los deflectores esta entre 20% - 35% del diámetro interno de la coraza.
- Cortes comunes de los tubos, BWG (plg): 1, 5/8, 3/4.
- El TEMA en RCB-11 recomienda que el diámetro mínimo de pernos debe de ser de 1/2 plg para intercambiadores de tipo R, de 5/8 plg para el tipo B y de 1/2 plg para tipo C.

**Tabla 1.** Cálculos para el diseño.

Lado de la coraza		
DI	3.7638	plg
DE	4	plg
B	2.4634	plg
C'	0.2874	plg
Pasos	1	

Lado de los tubos	
DI	0.40190 plg
DE	0.5 plg
Longitud	19.658 plg
Espesor	0.09810 plg
Area de flujo	0.127 plg <sup>2</sup>
Sup lineal ext	0.1309 ft <sup>2</sup>
BGW	18
No. tubos	10
Pitch	0.787402 plg
Pasos	2

**Tabla 2.** Propiedades de los fluidos.

Propiedades fisicoquimicas			
Propiedad	Tm	tm	Unidad
$\rho$	61.9067	61.8099	lbm/ft <sup>3</sup>
$\mu$	0.55	0.65	cp
Cp	0.9989	0.9984	Btu/lb°F
K	0.3735	0.3681	Btu/(h*ft <sup>2</sup> )(°F/ft)

Datos de dimensionamiento			
	Coraza	Tubos	Unidad
Fluido	agua-sosa	Agua	
Flujo	392.55	348.758675	lb/h
T entrada	77	167	°F
T salida	149	86	°F
T 1/2	113	126.5	°F

### Cálculo del balance de energía.

Haciendo uso del método de Donald Kern, realizamos el cálculo correspondiente para determinar el balance de energía.

$$q = W * Cp * \Delta T$$

$$q = \left(392.55 \frac{lb}{h}\right) * \left(0.9984 \frac{Btu}{lb^{\circ}F}\right) * (149^{\circ}F - 77^{\circ}F)$$

$$q = 28218.37824 \frac{Btu}{h} = 8269.99031 W$$

### Cálculo del flujo de agua caliente.

Para determinar la cantidad de fluido que se alimentara por el lado de los tubos, se realizan las siguientes operaciones.

$$W = \frac{q}{Cp * \Delta T}$$

$$W = \frac{28218.3782 \text{ Btu/h}}{\left(0.9989 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ\text{F}}\right) * (167 - 86^\circ\text{F})}$$

$$W = 348.758675 \frac{\text{lb}}{\text{h}} = 53.306628 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

### Cálculos del lado de la coraza.

Cálculo del área de flujo.

Con apoyo de las fórmulas podemos calcular el área de flujo que será necesario para el intercambio de calor.

$$\partial_s = \frac{DI * C' * B}{144 * P_T}$$

$$\partial_s = \frac{3.7638 \text{ in} * 0.2874 \text{ in} * 2.4634 \text{ in}}{144 * 0.787402 \text{ in}}$$

$$\partial_s = 0.02350106 \text{ ft}^2$$

Cálculo de la masa velocidad.

$$G_s = \frac{W}{\partial_s} = \frac{\text{lb}}{\text{h} * \text{ft}^2}$$

$$G_s = \frac{392.55 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{0.02350106 \text{ ft}^2}$$

$$G_s = 16703.5022 \frac{\text{lb}}{\text{h} * \text{ft}^2}$$

Cálculo de la temperatura media logarítmica, se realizan los cálculos correspondientes para determinar la temperatura media logarítmica. Una vez obtenido los valores, determinamos los valores de R y S, con ayuda de fórmulas:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) * (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(167 - 149^\circ\text{F}) * (86 - 77^\circ\text{F})}{\ln\left(\frac{167 - 149^\circ\text{F}}{86 - 77^\circ\text{F}}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 233.7165966$$

$$R = 1.125$$

$$S = 0.8$$

$$F_t = 1$$

### Cálculo del diámetro equivalente.

Para obtener el valor del diámetro equivalente es necesario realizar las siguientes operaciones.

$$D_{eq} = \frac{4 * \left( \left( \frac{P_T}{2} \right) * (0.86 * P_T) - \left( \frac{\pi (DE_t)^2}{8} \right) \right)}{\frac{\pi * DE_t}{2}}$$

$$D_{eq} = \frac{4 * \left( \left( \frac{0.787402 \text{ in}}{2} \right) * (0.86 * 0.787402 \text{ in}) - \left( \frac{\pi (0.5 \text{ in})^2}{8} \right) \right)}{\frac{\pi * 0.5 \text{ in}}{2}}$$

$$D_{eq} = 0.85778 \text{ in} = 0.071482 \text{ ft}$$

### Viscosidad en temperatura media.

En la tabla A-9 pág. 878 del libro de transferencia de calor y masa 4ta edición del autor Cengel Yunus, se pueden obtener las viscosidades a diferentes temperaturas.

$$\mu = 1.573 \frac{\text{lb}}{\text{h} * \text{ft}}$$

### Cálculo del Re de la mezcla sosa-agua.

De acuerdo con las fórmulas se realizan los respectivos cálculos para obtener el valor de Re por el lado de la coraza.

$$R_e = \frac{D_{eq} * G_s}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0.071482 \text{ ft} * 16703.5022 \frac{\text{lb}}{\text{h} * \text{ft}^2}}{1.573 \frac{\text{lb}}{\text{h} * \text{ft}}}$$

$$R_e = 759.05866$$

Con el  $R_e$  calculado se obtiene  $j_H$  el cual se puede obtener de tablas con valores establecidos, o bien si se requiere de una mejor precisión es posible realizar una regresión, tal y como se muestra a continuación en la figura 2:

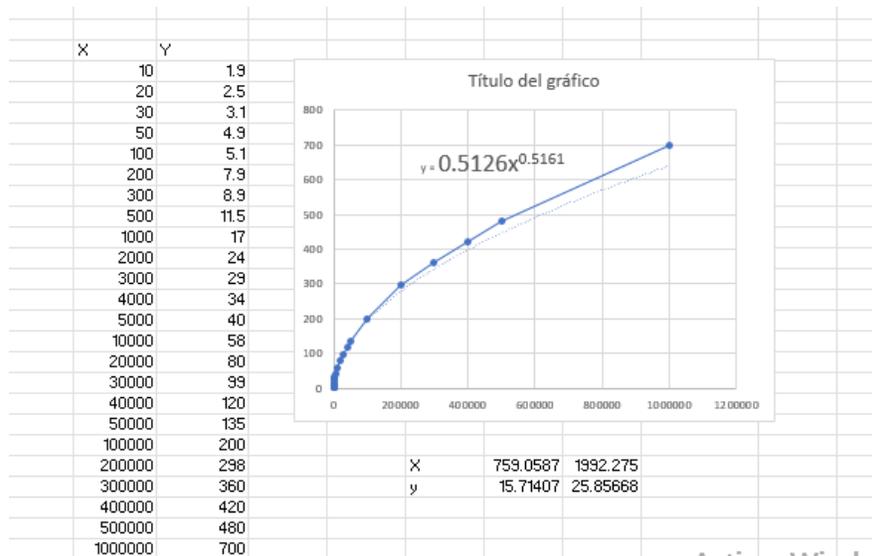


Figura 2. Cálculos de jH mediante regresión.

$$jH = 15.714071$$

**Cálculo de coeficiente ho.**

Para obtener los valores correspondientes de ho es necesario realizar los cálculos correspondientes de acuerdo con las fórmulas:

$$\frac{h_o}{\phi_o} = jH * \frac{K}{D_{eq}} * \left( \frac{Cp * \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{h_o}{\phi_o} = 15.714071 * \left( \frac{0.3681 \frac{Btu}{(hft^2) \left( \frac{^{\circ}F}{ft} \right)}}{0.071482 ft} \right) * \left( \frac{0.9984 \frac{Btu}{lb^{\circ}F} * 1.573 \frac{lb}{hft}}{0.3681 \frac{Btu}{(hft^2) \left( \frac{^{\circ}F}{ft} \right)}} \right)^{1/3}$$

$$\frac{h_o}{\phi_o} = 139.837133 \frac{Btu}{hft^2^{\circ}F}$$

Teniendo calculado y obtenido los valores por el lado de la coraza, se procede a la realización de cálculos por el lado de los tubos.

Cálculo del lado de los tubos.

$$\partial_t = \frac{\pi}{4} * (DI_t)^2 * No \text{ de tubos}}{144 * No. \text{ de pasos}} = ft^2$$

$$\partial_t = \frac{\pi}{4} * (0.40190 \text{ ln})^2 * 10}{144 * 2} =$$

$$\partial_t = 0.0044049 ft^2$$

Área de transferencia de calor.

$$A = \pi * D_e * L * \text{No. de tubos} = ft^2$$

$$A = (\pi) * \left(\frac{0.5 \text{ ln}}{12}\right) * \left(\frac{19.658 \text{ ln}}{12}\right) * (10)$$

$$A = 2.14436017 \text{ ft}^2$$

Cálculo de la masa velocidad por os tubos  $G_t$ .

$$G_t = \frac{W}{\partial_t} = \frac{lb}{hft^2}$$

$$G_t = \frac{348.758675 \frac{lb}{h}}{0.0044049 \text{ ft}^2}$$

$$G_t = 79175.460 \frac{lb}{hft^2}$$

Se obtiene la viscosidad a la temperatura media, este valor se puede encontrar en tablas o bien puede ser calculado, en este caso fue obtenido por medio de la tabla A-9 pág. 878 del libro de transferencia de calor y masa 4ta edición del autor Cengel Yunus.

$$\mu = 1.331 \frac{lb}{ft}$$

Cálculo del Re del agua caliente.

$$Re = \frac{DI_t * G_t}{\mu}$$

$$Re = \frac{(0.40190 \text{ ln}) * \left(79175.460 \frac{lb}{hft^2}\right)}{1.331 \frac{lb}{ft}}$$

$$Re = 1992.2751$$

Se obtiene de las tablas  $jH$ , de igual forma los valores para obtener este dato se encuentra tabulado en tablas, o bien puede ser calculado con una regresión.

$$jH = 6.2$$

Cálculo del coeficiente  $h_i$ .

$$h_i = jH * \frac{k}{DI_t} * \left(\frac{Cp\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}$$

$$h_i = 6.2 * \left( \frac{0.3735 \frac{Btu}{(h * ft^2) \left(\frac{°F}{ft}\right)}}{\frac{0.40190 \ln}{12}} \right) * \left( \frac{\left(0.9989 \frac{Btu}{lb °F} * 1.331 \frac{lb}{ft}\right)}{0.3735 \frac{Btu}{(h * ft^2) \left(\frac{°F}{ft}\right)}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_i = 105.5720 \frac{Btu}{hft^2 °F}$$

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} * \frac{DI}{DE}$$

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = 105.5720 \frac{Btu}{hft^2 °F} * \left( \frac{0.40190 \ln}{0.5 \ln} \right)$$

$$\frac{h_{io}}{\phi_t} = 84.858762$$

Cálculo de la temperatura de la pared del tubo.

$$t_w = t_m + \frac{h_o}{h_i + h_o} * (T_m - t_m)$$

$$t_w = 113 °F + \left( \frac{139.837133 \frac{Btu}{hft^2 °F}}{84.858762 + 139.837133 \frac{Btu}{hft^2 °F}} \right) * (126.5 °F - 113 °F)$$

$$t_w = 121.40158 °F$$

Cálculo de las correlaciones por viscosidad.

$$\phi_i = \frac{\mu_i^{T_m}}{\mu_i^{T_w}} \quad \phi_o = \frac{\mu_o^{T_m}}{\mu_o^{T_w}}$$

Para bajas viscosidades se considera 1 en la relación de las viscosidades.

$$\phi_i = 1$$

$$\phi_o = 1$$

Cálculo del coeficiente parcial de transferencia de calor.

$$h_i = \frac{h_i}{\phi_i} * \phi_i = \frac{Btu}{hft^2 °F}$$

$$h_i = \frac{84.858762}{1}$$

$$h_i = 84.858762 \frac{Btu}{hft^2 °F}$$

$$h_o = \frac{h_o}{\Phi_o} * \Phi_o = \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}$$

$$h_o = \frac{139.837133 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}}{1}$$

$$h_o = 139.837133 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}$$

**Cálculo del coeficiente global de transferencia.**

$$Rd = 0.002$$

$$U_D = \left( \frac{1}{U_C + Rd} \right)^{-1} = \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} \quad U_C = \frac{h_{i_o} * h_o}{h_{i_o} + h_o}$$

$$U_D = \left( \frac{1}{52.81096 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} + 0.002} \right)$$

$$U_D = 47.765841 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}$$

$$U_C = \frac{\left( 84.858762 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} * 139.83713 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} \right)}{\left( 84.858762 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} + 139.83713 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} \right)}$$

$$U_C = 52.81096 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}$$

**Cálculo del factor de obstrucción.**

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C * U_D}$$

$$R_d = \frac{52.81096 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} - 47.765841 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}}{52.81096 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}} * 47.765841 \frac{Btu}{hft^2\text{°F}}}$$

$$R_d = 0.002$$

Se pudo comprobar que el factor de obstrucción propuesto con el calculado coincide con exactitud.

**Caídas de presión.**

Para Re obtener f de la figura 29 pág. 944 del libro Donald Q Kern.

$$Re \text{ de la coraza} = 759.05866 \quad f = 0.0035 \frac{ft^2}{in^2}$$

$$Re \text{ de los tubos} = 1992.2751 \quad f = 0.0028 \frac{ft^2}{ln^2}$$

Números de cruces.

$$N + 1 = \frac{12L}{B}$$

$$N + 1 = \frac{12 * (19.658 \text{ ln})}{2.4634 \text{ ln}}$$

$$N + 1 = 95.760883$$

Caída de presión por el lado de la coraza.

$$\Delta P_s = f * \frac{G_s^2 + D_s(N + 1)}{(5.22 \times 10^{10}) D_e s \Phi_s} = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_s = 0.0035 \frac{ft^2}{ln^2} * \frac{16703.5022 \frac{lb}{hft^2} + \frac{3.7638 \text{ ln}}{12} * 95.760883}{5.22 \times 10^{10} * 0.071482 \text{ ft} * 1 * 1}$$

$$\Delta P_s = 0.00026172 \frac{lb}{ln^2}$$

Cálculo de la caída de presión por el lado de los tubos.

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{(5.22 \times 10^{10}) D_s \Phi_t} = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_t = \frac{0.0028 \frac{ft^2}{ln^2} * 79175.460 \frac{lb}{hft^2} * \frac{19.658 \text{ ln}}{12}}{(5.22 \times 10^{10}) * \frac{0.40190 \text{ ln}}{12} * 1 * 1}$$

$$\Delta P_t = 0.03289425 \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta p_r = \frac{4n}{s} * \frac{V^2}{2g'} = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta p_r = 0 \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta p_r = \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_T = 0.03289425 \frac{lb}{ln^2} + 0 \frac{lb}{ln^2}$$

$$\Delta P_T = 0.03289425 \frac{lb}{ln^2}$$

Para la construcción del intercambiador de calor de tubos y coraza basado en el diseño CAD previo se consideró que el material de construcción contara con ciertas características, principalmente que fuera totalmente transparente para poder observar el recorrido de los fluidos, que fuera resistente a corrosiones y soportara temperaturas menores a 150 °C.

Por lo tanto, se seleccionó para la construcción de la coraza un tubo de policarbonato de 4" de diámetro externo, con una longitud de 50 cm.

Se propone utilizar 10 tubos de cobre de 3/8" de diámetro nominal con un espesor de 1 mm y un  $\frac{PT}{d_o} = 2$

Debido a la longitud de la coraza, el intercambiador de calor será de 1-2. La parte segmentada del intercambiador será del 60% puesto que es la segmentación ideal ya que resultaría con 6 deflectores con una distancia de estos del 25% del diámetro interno de la coraza (3.7638 plg), valor que se encuentra dentro de los parámetros de diseño. Para la unión de las piezas se requirió el uso de un adhesivo industrial para policarbonato, de igual manera para el secado de este adhesivo se requiero de una lampara de luz UV de 365 nm.

Contará con un pitch de 2 cm de distancia de centro a centro en el diámetro de los tubos.

Para las tapas se utilizarán tramos de 8 cm y 4 cm de longitud, su diámetro externo e interno coinciden con el diámetro de la coraza puesto que son del mismo material. Una de las tapas contara con dos perforaciones de 1/2 plg de diámetro para las entradas y salidas de los fluidos. Las tapas y la coraza serán unidas por medio de bridas las cuales contará con 8 perforaciones, el diámetro de los tornillos a utilizar será de 3/16 plg con una cantidad de 8 tornillos por cabezal.

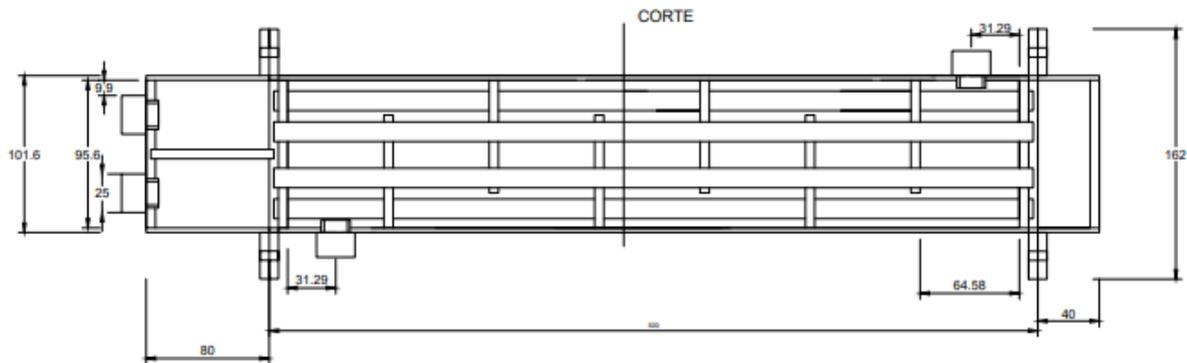


Figura 3. Esquema para la construcción del intercambiador de calor.

### Diseño de diagramas de tuberías e Instrumentación P&ID.

Un diagrama de tuberías e instrumentación o P&ID muestra las tuberías y los componentes relacionados del flujo de un proceso físico. Se utiliza más comúnmente en el campo de la ingeniería. Los P&IDs son fundamentales para el mantenimiento y modificación del proceso que representan gráficamente. En la etapa de diseño, el diagrama también ofrece la base para el desarrollo de esquemas de control del sistema, como el Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP, por sus siglas en inglés).

En el caso de las instalaciones de procesamiento, se trata de una representación gráfica de: los detalles clave de las tuberías e instrumentación, los esquemas de control y apagado, los requisitos de seguridad y normativa, la información básica de arranque y operación. (LucidChart, 2024).

Utilizando el software LucidChart el cual es una herramienta de diagramación basada en la web se desarrolló el P&ID del sistema.

En la figura 4 se muestra el desarrollo de la instrumentación del sistema que se basa en normativa ANSI ISA 5.1.

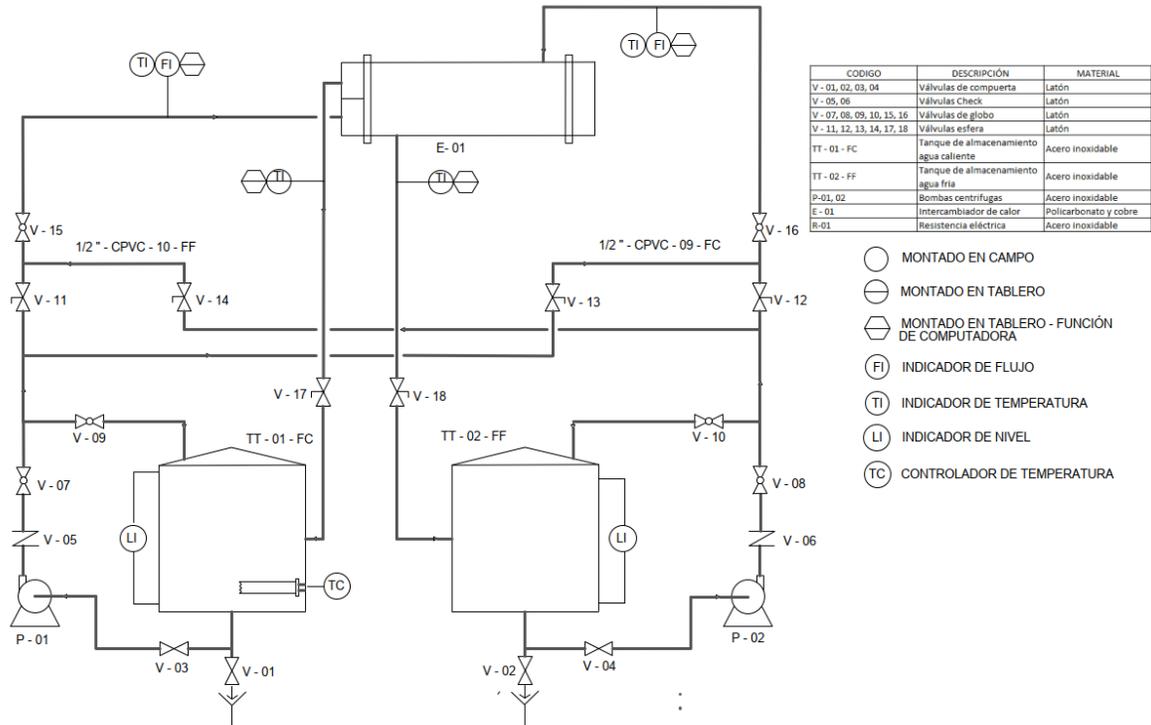
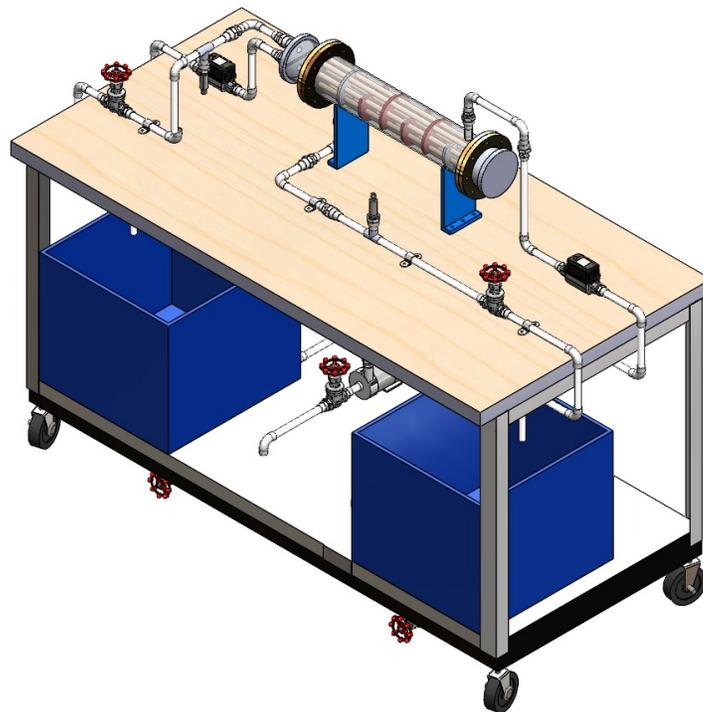


Figura 4. Diseño P&ID del sistema de control de procesos basado en normativa ANSI ISA 5.1.

### Diseño mecánico del sistema de control de procesos.

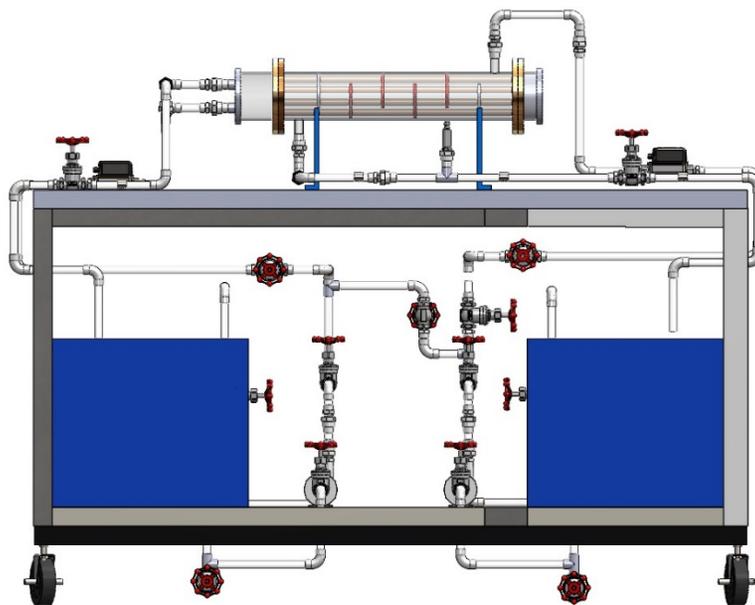
Basado en el P&ID del sistema de realiza el diseño mecánico utilizando el software de SolidWorks. El cual es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D, SOLIDWORKS. (2023).

Para el diseño del sistema se propone dos depósitos de agua de succión, intercambiador de calor tipo tubo y coraza, 2 bombas sanitarias de acero inoxidable con alimentación monofásica, válvulas y sensores de flujo volumétrico y sensores de temperatura. En la figura 5 se muestra una vista isométrica de la parte de la estructura principal del sistema de intercambio de calor.



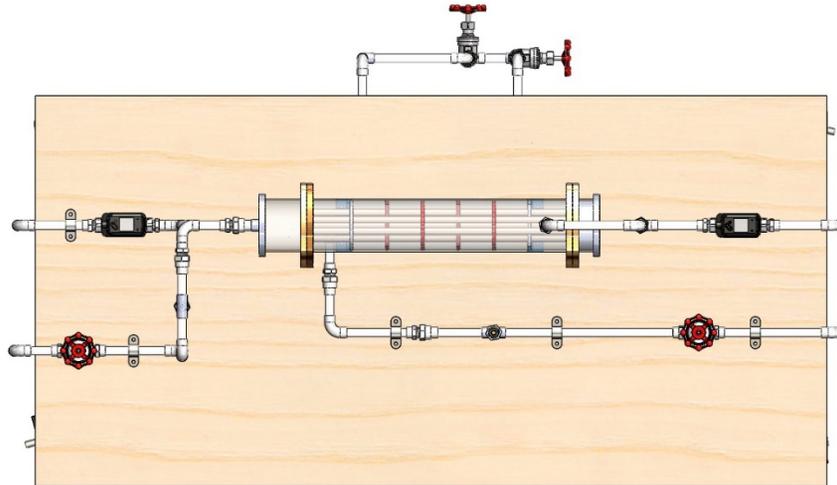
**Figura 5.** Diseño del sistema de intercambio de calor, en vista isométrica.

La figura 6 presentada muestra una vista general del diseño del sistema intercambiador de calor, destacando la disposición de los componentes clave. Los dos tanques de acero inoxidable, diseñados para suministrar el fluido calefactor y el fluido receptor de calor, están integrados en el sistema siguiendo las especificaciones del diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID).

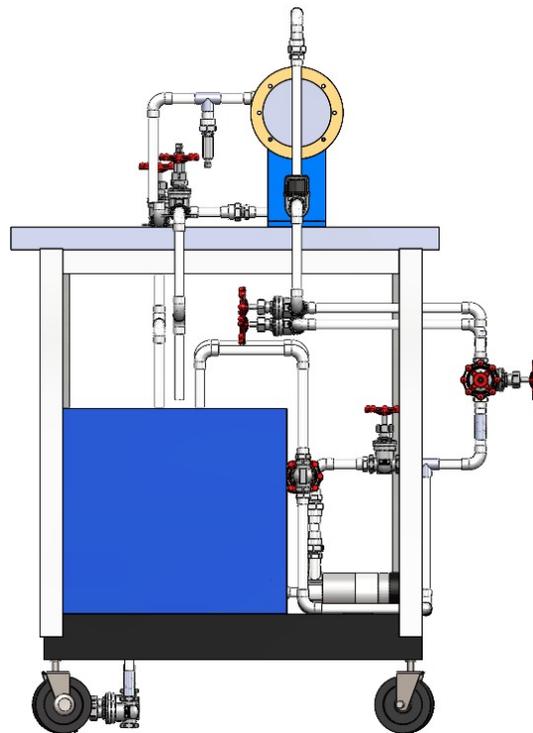


**Figura 6.** Vista frontal del intercambiador de calor.

En las figuras 6 a la 8 se muestran vistas (frontal, superior e izquierda respectivamente) del diseño del sistema generados en SolidWorks. En el trayecto del flujo, se incluyen diversos elementos cuidadosamente seleccionados y ubicados para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema. También se ilustra la conexión de sensores de flujo y temperatura, esenciales para el monitoreo y control del proceso, así como las bombas centrífugas encargadas de mantener el flujo constante dentro del circuito.



**Figura 7.** Vista superior del intercambiador de calor.



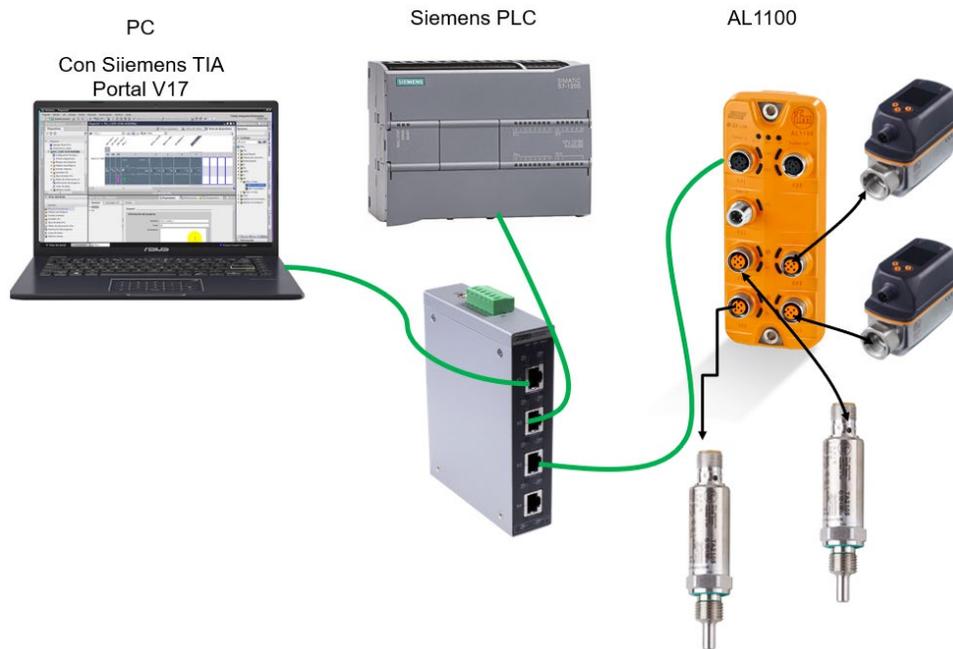
**Figura 8.** Vista lateral izquierda del intercambiador de calor.

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

En la figura 9 se muestra la red comunicación Profinet, en donde se establece la conexión del PLC al ordenador mediante Ethernet TCP/IP. Así mismo el PLC está comunicado con un maestro IOL-Link mediante bus Profinet, que a su vez tiene salidas a los sensores de interfaz IO-Link, que monitorearán el proceso.

IO-Link es un sistema de comunicación punto a punto independiente para conectar sensores y actuadores a un sistema de automatización, IFM. (2023).

En el mismo bus de Profinet es posible conectar una PC para para el monitoreo de magnitudes del sistema de control de proceso, esto gracias a que el maestro IO-Link tiene conexiones de comunicación Profinet.



**Figura 9.** Sistema de automatización basado en la red Profinet y IO Link.

### 3. Desarrollo.

Con base en el diseño mecánico de los componentes desarrollado mediante el software CAD Solidworks, se avanza a la etapa de manufactura asistida por computadora (CAM), donde se genera el código G necesario para la ejecución del proceso de fabricación en una máquina CNC. Este flujo asegura la integración precisa entre el diseño digital y la implementación física de todos los componentes que integran el intercambiador (coraza, tapas, espejos, bridas y deflectores).

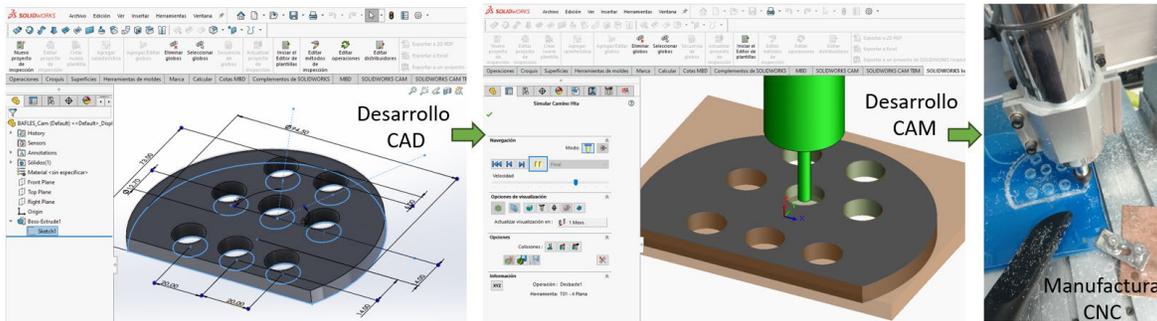


Figura 10. Desarrollo Cad-Cad de las partes del intercambiador.

Así también teniendo los diseños P&ID, eléctrico y mecánico, se empezó con la construcción física del intercambiador de calor.



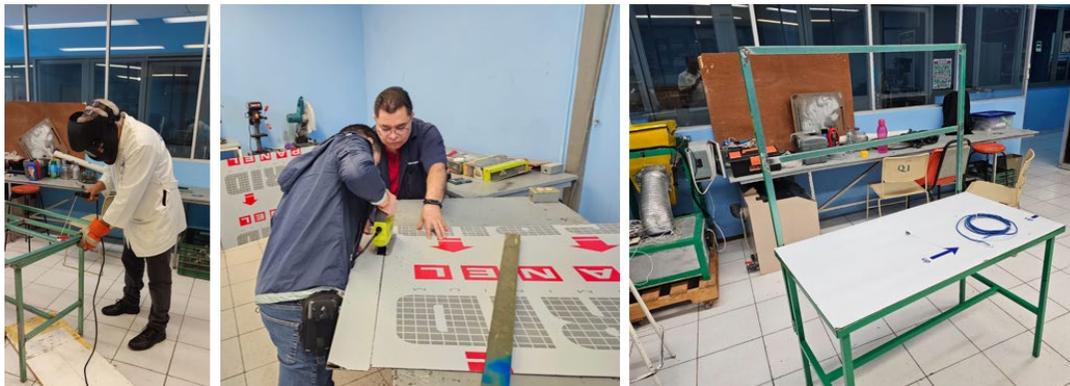
Figura 11. Implementación de la estructura del sistema.

Una vez generadas las piezas que conformaran la coraza, tapas, espejos, bridas y deflectores mediante manufactura CNC, se procede a medir y se cortar los tubos de cobre que conforman el haz de tubos, los cuales tienen una longitud de 50 cm. Con apoyo del adhesivo y la lampara luz UV, se adhieren los tubos a los espejos y deflectores que conformaran el cuerpo interno del intercambiador de calor, para lo cual requirió un tiempo de 2 días de exposición solar.



**Figura 12.** Ensamble de partes del intercambiador de calor.

Posteriormente se realizó la implementación de la base del sistema de control, siguiendo el diseño 3D que se implementó en la etapa de diseño en SolidWorks.



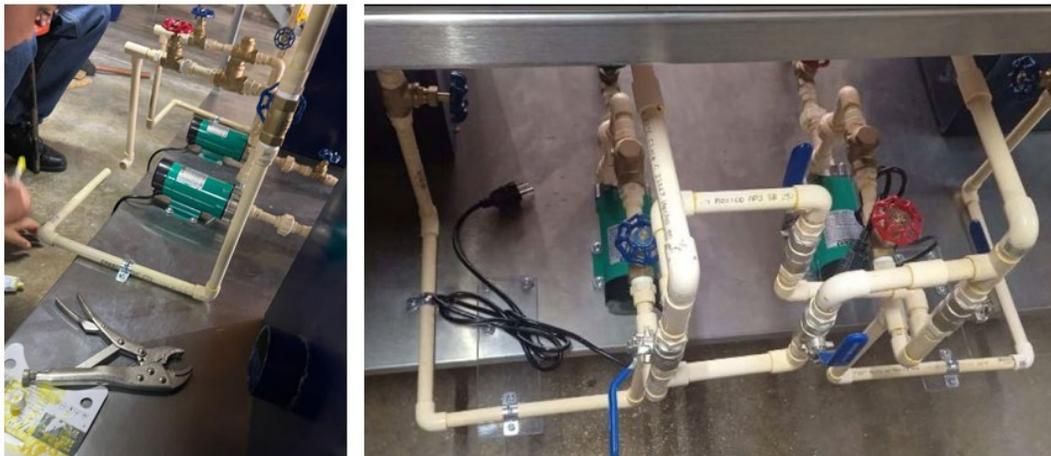
**Figura 13.** Soldadura, corte y ensamble de la base sistema de control.

El siguiente paso fue montar la bomba centrífuga sobre la base de madera y fijarla. Posteriormente se inició con las conexiones de tubería, tanto en la parte de succión y en la salida de la bomba, conectando así la primera válvula proporcional. Esta construcción se aprecia en la figura 14.



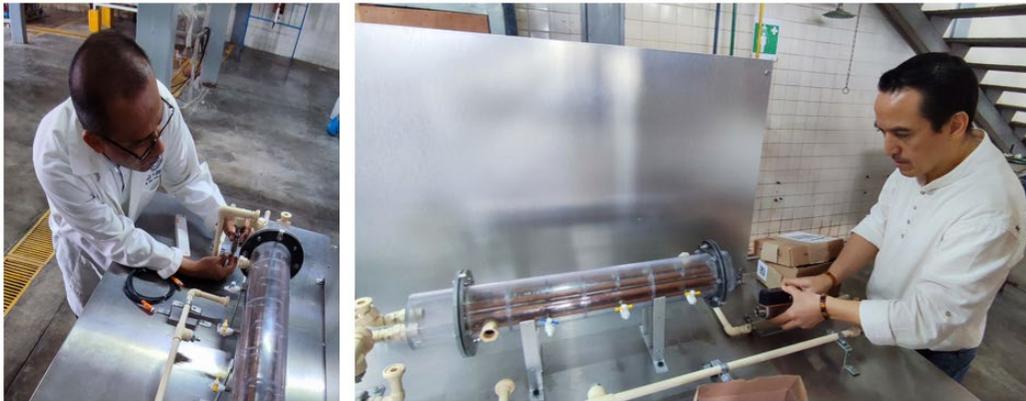
**Figura 14.** Ensamble final del intercambiador de calor incluyendo unión de las entradas, bridas y empaques.

Posteriormente después de ubicar los tanques de alimentación en su sitio y bombas, se procedió a la colocación de tuberías, con apoyo del isométrico se realizaron las medidas y cortes de las tuberías de CPVC, Así mismo se fueron colocando los accesorios como son codos, tees, válvulas, etc, como se muestra en la figura 15.



**Figura 15.** Instalación válvulas, bombas y tuberías.

Posteriormente se realizó en conexionado de los sensores de flujo y temperatura así como su cableado M8 basado en la norma EN61076 con montaje que no requiere herramientas y que cuenta con alto grado de protección para las exigencias de entornos industriales, como se muestra en la figura 16.



**Figura 16.** Instalación de instrumentación electrónica del intercambiador.

El siguiente paso consistió en la conexión de las bombas centrífugas a los elementos de potencia y control, permitiendo su activación a través del PLC y el sistema HMI. Simultáneamente, los sensores se integraron al maestro IO-Link, el cual se enlazó mediante una red Profinet al controlador lógico programable, asegurando una comunicación eficiente y precisa entre los dispositivos.

Además, se llevó a cabo la instalación y conexión de los botones de arranque y paro, diseñados para proporcionar al operador control directo sobre el funcionamiento del sistema intercambiador de calor. Estos elementos permiten una interacción segura y sencilla con el proceso.

En la figura 17 se muestra el resultado de la construcción física del intercambiador de calor tubo y coraza, que consistió en la conexión de tuberías PVC, válvulas unidireccionales y on-off, instalación de sensores de flujo volumétrico, sensores de temperatura, bombas centrífugas, controlador lógico programable, computadora personal con software de monitoreo y control, cables de comunicación IO Link y Profinet.



**Figura 17.** Intercambiador de calor tipo tubo y coraza.

## Conclusiones.

Se desarrolló un intercambiador de calor de carcasa y tubos a escala como herramienta de entrenamiento en el ITTG representa un avance significativo en la formación técnica e ingeniería. Este equipo es fundamental en aplicaciones industriales debido a su diseño eficiente, compuesto por una carcasa externa y múltiples tubos internos que facilitan la transferencia térmica. Su importancia radica en su capacidad para optimizar procesos de calefacción y refrigeración en sectores como el alimentario, químico, metalúrgico y farmacéutico, aumentando la productividad y reduciendo costos operativos y el consumo energético.

La integración de sensores de flujo volumétrico y temperatura con tecnología IO-Link en el prototipo añade un valor considerable al proyecto al proporcionar una comunicación precisa y estandarizada entre los dispositivos de campo y el sistema de control. Combinado con un sistema HMI (Interfaz Hombre-Máquina) basado en la red Profinet, este diseño ofrece a los estudiantes la oportunidad de trabajar con tecnologías avanzadas de automatización industrial. Esto no solo mejora la experiencia de aprendizaje práctico, sino que también prepara a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos tecnológicos actuales en el monitoreo y control de procesos.

El sistema desarrollado constituye una integración estratégica entre las áreas de Ingeniería Química e Ingeniería Mecatrónica, demostrando el valor de la colaboración interdisciplinaria para el diseño y construcción de prototipos funcionales que incorporan tecnologías avanzadas y metodologías propias de la industria moderna. Esta combinación de conocimientos y capacidades ha permitido la creación de un intercambiador de calor automatizado, diseñado para monitorear y analizar procesos térmicos en tiempo real, consolidándose como una herramienta tecnológica innovadora y altamente eficiente para su implementación en el Laboratorio de Química.

## Referencias bibliográficas.

**Alfa laval. (2024).** Alfa laval industria. Recuperado 06 Junio de 2024 <https://www.alfalaval.mx/>.

**Cengel, Yunus A (2023).** Termodinámica, cuarta edición, México D.F. Mc Graw Hill Pág. 670  
[https://www.academia.edu/38408494/Transferencia\\_De\\_Calor\\_y\\_Masa\\_4ta\\_ed\\_Cengel\\_McGraw\\_Hill](https://www.academia.edu/38408494/Transferencia_De_Calor_y_Masa_4ta_ed_Cengel_McGraw_Hill).

**EPLAN. (2024).** EPLAN – efficient engineering. Recuperado 01 de Agosto de 2023 <https://www.eplan.com.mx/>.

**Gutiérrez Rojas, Javier.(2023).** Automatización de intercambiador de calor. UCrea. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/29540>.

**IFM. (2023).** Ifm electronic. Recuperado 10 de Junio de 2023 <https://www.ifm.com/mx/es>.

**LucidChart. (2024).** LucidChart. Recuperado 5 de mayo de 2023 <https://www.lucidchart.com/>.

**SOLIDWORKS. (2024).** Qué es y para qué sirve Solidworks. Recuperado 1 de Junio de 2023 <https://solid-bi.es/solidworks/>.

### 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 escalarse 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.



**Jorge Armando Gómez Salinas**, obtuvo el título de la licenciatura en Ingeniería Bioquímica, en el 2002, ingreso a la maestría en ciencias en Ingeniería Bioquímica, en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Es docente- investigador de ITTG, ha desarrollado proyectos de investigación TecNM, tales como Evaluación del proceso fermentativo para la formulación y producción de bebidas a base de frutos regionales de Chiapas, Efecto antifúngico de esporas encapsuladas de *Metarhizium anisopliae* sobre el desarrollo de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) infectadas con *Fusarium moniliforme*, Sensibilidad de agentes causales de infecciones intestinales a extractos orgánicos de *Justicia spicigera*, Aislamiento e identificación de enterobacterias en alimentos frescos y cocidos y su sensibilidad a agentes antimicrobianos naturales.



**Cristal Guadalupe. Lozano Cruz**, Estudió el bachillerato con una carrera Técnica en Administración de empresas, continuó sus estudios en la licenciatura en Ingeniería Química 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 tubos y coraza, proyecto que le permitió obtener el título de la licenciatura en Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



**Carlos Ramón Alfonso Santiago**, estudió Ingeniería Mecánica (1991-1995) en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, también cursó la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica (2016-2018) en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, donde se desempeña como docente desde marzo del año 2003. Es profesor de tiempo completo y durante su trayecto en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez logró en el año 2015 la Certificación en SolidWorks CSWA, ha impartido materias a nivel profesional en distintas áreas como Ingeniería Mecánica, Ingeniería Química e Ingeniería Industrial, actualmente es parte del cuerpo académico de la carrera de Ingeniería Mecatrónica. Fungió como jefe de departamento en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en los Departamentos de Recursos Materiales (2005-2008) y de Mantenimiento de Equipo (2008-2010) y fue jefe del Laboratorio de Sistemas de Manufactura (2010-2016).



**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.