

## Diseño de un intercambiador de calor de coraza y tubos Desing of a shell and tube heat exchanger

J. Lara-Lara <sup>a\*</sup>, R. Clemente-Gómez <sup>a</sup>, O. López-Ramos <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Área Académica de Ingeniería Electromecánica, Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, 50700, Jocotitlán, Edo. México, México.

### Resumen

Los intercambiadores de calor son aparatos que facilitan el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. Este trabajo tiene como objetivo diseñar un intercambiador de calor con ayuda del software SolidWorks, se dimensiona y se hacen los cálculos que nos darán el comportamiento de dicho diseño, con el fin de determinar los parámetros más importantes a considerar para la selección y diseño de un intercambiador de calor, para el análisis se considera el coeficiente total de transferencia de calor  $U$ , la razón de la transferencia de calor entre los dos fluidos  $\dot{Q}$  y la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD), se toma en cuenta el factor de corrección  $F$  que considera la desviación de la diferencia media de temperatura respecto de la LMTD, se utiliza el método de efectividad-NTU, el cual permite analizar los intercambiadores de calor cuando no se conocen las temperaturas de salida de los fluidos. Se obtiene como resultado que un intercambiador de coraza y tubos con aletas de un solo paso, dentro de los intercambiadores de calor es la mejor opción para el diseño por su mayor ganancia de calor entre fluidos, se obtiene el plano del diseño y finalmente la fabricación del dispositivo que sirve para prácticas y el seguimiento del comportamiento de un intercambiador de calor.

**Palabras Clave:** Diseño, transferencia de calor, fluidos, SolidWorks, intercambiador de calor.

### Abstract

Heat exchangers are devices that facilitate the exchange of heat between two fluids that are at different temperatures and at the same time prevent them from mixing with each other. This work aims to design a heat exchanger with the help of SolidWorks software, it is dimensioned and the calculations are made that will give us the behavior of said design, in order to determine the most important parameters to consider for the selection and design of a heat exchanger, for the analysis the total heat transfer coefficient  $U$ , the heat transfer ratio between the two fluids  $\dot{Q}$  and the logarithmic mean temperature difference (LMTD) are considered, the correction factor  $F$  is considered for To take into account the deviation of the average temperature difference with respect to the LMTD, the effectiveness-NTU method is used, which allows the analysis of heat exchangers when the outlet temperatures of the fluids are not known. The result is that a cross flow exchanger is the best option for the design due to its greater heat gain between fluids, the design drawing is obtained and finally the manufacturing of the device that serves for practices and monitoring the behavior of an exchanger. of heat.

**Keywords:** Design, heat transfer, fluids, SolidWorks, heat exchanger.

### 1. Introducción

El intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos, encontrándose éstos en contacto o separados por una barrera sólida, son de uso común en una amplia variedad de aplicaciones, desde los sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento del aire hasta los procesos químicos y la producción de energía en las plantas grandes (Cengel *et al.*, 2019).

Para entender fácilmente su funcionamiento, podemos tomar como referencia el radiador de cualquier vehículo. El motor calienta el fluido refrigerante. Este último se refresca por el contacto con las corrientes de aire, logrando así reducir la temperatura del primero tras circular por su interior (TSolucion, 2022). Un intercambiador de calor es un equipo que transfiere continuamente calor de un medio a otro (Alfa, 2022).

\*Autor para la correspondencia: 2019150480550@tesjo.edu.mx

**Correo electrónico:** 2019150480550@tesjo.edu.mx (Jesús Lara-Lara), 2019150480180@tesjo.edu.mx (Ricardo Clemente-Gómez), octaviano.lopez@tesjo.edu.mx (Octaviano López-Ramos).

Los intercambiadores de calor se clasifican de acuerdo con su tamaño y forma en: 1) Carcasa y tubo; consiste en un conjunto de tubos dentro de un contenedor llamado carcasa, el fluido dentro de los tubos son el flujo interno y el fluido que recorre la carcasa fluido externo. 2) Plato; consiste en placas en lugar de tubos para separar los fluidos caliente y frío, las placas proveen un área extremadamente grande se obtiene una transferencia térmica mucho mayor (Jaramillo, 2007).

También reciben una clasificación según su modo de operación, estos son: 1) Flujo paralelo; los fluidos ingresan al intercambiador por el mismo extremo durante su recorrido el fluido más frío gana temperatura y el fluido más caliente pierde temperatura, al salir existe un diferencial, aunque nunca llegan a salir con la misma temperatura. 2) Contra flujo; los fluidos ingresan en sentido opuesto, lo cual provoca que el fluido frío gane la mayor parte de temperatura acercándose al fluido caliente de entrada. 3) De un solo paso; el fluido caliente sólo intercambia calor con el fluido frío durante su paso por el intercambiador de ahí su nombre de intercambiador de un solo paso. 4) Regenerativos y no regenerativos; se usan donde el fluido que enfría y el que es enfriado es el mismo, el calor ganado por el fluido frío se vuelve a recuperar para usarlo nuevamente en el sistema lo cual mejora la eficacia del intercambiador (Jaramillo, 2007).

Para realizar el diseño se ocupa el software SolidWorks el cual es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico, permite modelar piezas como ensamblajes y extraer de ellos tanto dibujos de detalle como otro tipo de información necesaria para la fabricación de piezas (Fernández y Díaz, 2015), aunque el software permite realizar análisis térmicos entre piezas, en este trabajo se realizará mediante cálculos matemáticos debido a que los factores que determinan la eficiencia son diversos y se tienen que poner en consideración cada uno de ellos.

En este trabajo se muestra el cálculo para la selección para el diseño de un intercambiador de calor, se parte de la premisa de que un intercambiador de flujo cruzado de corza y tubos tiene un nivel de eficiencia alto, además de que su construcción es más simple en comparación de otros intercambiadores, se muestran los resultados que se obtendrán de acuerdo con el diseño propuesto, se muestran los elementos que lo componen y las dimensiones consideradas para hacer el diseño.

## 2. Metodología de análisis

La función general de un intercambiador de calor es transferir calor de un fluido a otro. Los componentes de los intercambiadores se pueden reconocer de un modo más fácil como un tubo por donde un flujo de fluido está pasando mientras que otro fluido fluye alrededor de dicho tubo para enfriarlo o calentarlo, por lo que pueden existir diferentes tipos de transferencia de calor como:

- a) Transferencia de calor por convección del fluido hacia la pared interna del tubo
- b) Transferencia de calor por conducción a través de la pared del tubo
- c) Transferencia de calor conexión desde la pared externa del tubo hacia el fluido exterior.

La metodología para el análisis y diseño de un intercambiador de calor de corza y tubos, se atiende primero el problema de la transferencia de calor del fluido interno en el tubo hacia el fluido externo en la carcasa, el calor se transfiere

del fluido caliente hacia la pared por convección, después a través de la pared por conducción y, por último, de la pared hacia el fluido frío de nuevo por convección (Sadik et al, 2012), después del análisis termodinámico se puede conocer la tasa de transferencia de calor y la diferencia de temperaturas logarítmica (Burbano, 2014). Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor se considera la pared del tubo muy pequeña y una conductividad de material alta, por lo que la resistencia térmica se desprecia, las superficies interior y exterior del mismo son semejantes, entonces el coeficiente de transferencia de calor esta dado (Cengel et al, 2019):

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \tag{1}$$

En la Tabla 1 se muestran algunos valores representativos del coeficiente tal de transferencia U, donde se observa que el coeficiente varía alrededor de 10 W/m<sup>2</sup>.

Tabla 1. Valores representativos de los coeficientes totales de transferencia de calor en los intercambiadores de calor.

Tipo de intercambiador de calor	U, W/m <sup>2</sup> °C
Agua hacia agua	850-1700
Agua hacia aceite	100-350
Agua hacia gasolina o queroseno	300-1000
Calentadores de agua de alimentación	1000-8500
Vapor de agua hacia combustóleo ligero	200-400
Vapor de agua hacia combustóleo pesado	50-200
Condensador de vapor de agua	1000-6000
Condensador de freón (agua enfriada)	300-1000
Condensador de amoniaco (agua enfriada)	800-1400
Condensador de alcohol (agua enfriada)	250-700
Gas hacia gas	10-40
Agua hacia aire en tubos con aletas	30-60
Vapor de agua hacia aire en tubos con aletas (vapor de agua en los tubos)	30-300

\*Multiplíquese los valores de la lista por 0.176 para convertirlo en  $\frac{Btu}{h} \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$

El rendimiento de un intercambiador también está afectado por los fluidos que circulan en su interior, dichos fluidos generan residuos dentro de los tubos y la coraza llamado incrustación, por lo que este factor debe considerarse al momento de diseñar un intercambiador de calor, la incrustación para un intercambiador de calor de corza y tubos sin aletas se expresa:

$$\frac{1}{U_{Ai}} = \frac{1}{U_{iAi}} = \frac{1}{U_{oAo}} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o} \tag{2}$$

En la tabla 2 se dan valores representativos de factores de incrustación los cuales son datos que nos ayudan a hacer análisis para el diseño de un intercambiador de calor.

Tabla 2. Factores de incrustación representativos (resistencia térmica debida a la incrustación para una unidad de área superficial).

Fluido	R <sub>f</sub> , m <sup>2</sup> m · °C/W
Agua destilada, agua de mar, agua de río, agua de alimentación para calderas:	
Por debajo de 50°C	0.0001
Arriba de 50°C	0.0002
Combustóleo	0.0009
Vapor de agua (libre de aceite)	

Refrigerante (líquido)	0.0001
Refrigerante (Vapor)	0.0002
Vapores de alcohol	0.0004
Aire	0.0001
	0.0004

Además del coeficiente total de transferencia y el factor de incrustación se deben considerar otros criterios que nos permiten el diseño del intercambiador, estos criterios están dados por las siguientes ecuaciones (Burbano, 2014; Cengel et al., 2019; Boix, 2018; Connor, 2019) donde las variables son definidas a continuación, primero, la velocidad media es definida como:

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} \quad (3)$$

donde

$\dot{m}$  = Flujo másico ( $kg/s$ )

$\rho$  = Densidad de flujo ( $kg/m^3$ )

$A_c$  = Área transversal del tubo ( $m^2$ )

Asimismo el número de Reynolds es:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (4)$$

$\rho$  = Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

$V$  = velocidad media ( $m/s$ )

$\mu$  = Viscosidad del fluido ( $Pa \cdot s$ )

el Número de Nusselt es:

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (5)$$

donde

$h$  = Coeficiente de transferencia de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$D$  = Diámetro del tubo ( $m^2$ )

$k$  = Conductividad térmica ( $W/mK$ )

En cuanto a la convección tubo interno es definida como:

$$hi = \frac{k}{D} Nu \quad (6)$$

$k$  = Conductividad térmica ( $W/mk$ )

$D$  = Diámetro del tubo ( $m$ )

$Nu$  = Número de Nusselt

El diámetro hidráulico es dado como:

$$Dh = Di - Do \quad (7)$$

$Di$  = Diámetro interno ( $m$ )

$Do$  = Diámetro externo ( $m$ )

La convección de tubo externo es determinada como:

$$ho = \frac{k}{D} Nu \quad (8)$$

$k$  = Conductividad térmica ( $W/mk$ )

$D$  = Diámetro hidráulico ( $m$ )

$Nu$  = Número de Nusselt

En cuanto al balance de energía en los fluidos caliente y frío

$$Q = Cc(Tc, sal - Tc, ent) = Ch(Th, ent - Th, sal) \quad (9)$$

$Cc$  = Razón calorífica del fluido frío ( $W/^\circ C$ )

$Tc, sal$  = Temperatura de salida fluido frío ( $^\circ C$ )

$Tc, ent$  = Temperatura de entrada fluido frío ( $^\circ C$ )

$Ch$  = Relación calorífica del tubo caliente ( $W/^\circ C$ )

$Th, ent$  = Temperatura de entrada fluido caliente ( $^\circ C$ )

$Th, sal$  = Temperatura de salida fluido caliente ( $^\circ C$ )

Relación de capacidades

$$C = \frac{Cmin}{Cmax} \quad (10)$$

$Cmin$  = Razón de capacidad mínima ( $W/^\circ C$ )

$Cmax$  = Razón de capacidad máxima ( $W/^\circ C$ )

Razón máxima posible de transferencia de calor

$$Qmáx = Cmin(Th, ent - Tc, sal) \quad (11)$$

Número de unidades de transferencia

$$NTU = \frac{UAs}{Cmin} \quad (12)$$

$U$  = Coeficiente de transferencia de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$Cmin$  = Razón de capacidad mínima ( $W/^\circ C$ )

$As$  = Área superficial ( $m^2$ )

Efectividad de la transferencia de calor

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + c + \sqrt{1 + c^2} \frac{1 + \exp[-NTU\sqrt{1+c^2}]}{1 - \exp[-NTU\sqrt{1+c^2}]} \right\}^{-1} \quad (13)$$

$C$  = Relación de capacidad calorífica ( $W/^\circ C$ )

$NTU$  = Número de unidades de transferencia

Capacidad nominal de transferencia de calor

$$Q' = \varepsilon Qmáx \quad (14)$$

$Qmáx$  = Máxima tasa de transferencia de calor ( $W$ )

$\varepsilon$  = Efectividad de la transferencia de calor

Temperatura de salida (frío)

$$Tc, sal = Tc, ent + \frac{\dot{Q}}{Cc} \quad (15)$$

$Tc, ent$  = Temperatura de entrada fluido frío ( $^\circ C$ )

$\dot{Q}$  = Transferencia de calor nominal ( $W$ )

$Cc$  = Razón calorífica del fluido frío ( $W/^\circ C$ )

Temperatura de salida (caliente)

$$Th, sal = Th, ent - \frac{\dot{Q}}{Cc} \quad (16)$$

$Th, ent$  = Temperatura de salida del fluido caliente ( $^\circ C$ )

$\dot{Q}$  = Transferencia de calor nominal ( $W$ )

$Cc$  = Razón calorífica del fluido frío ( $W/^\circ C$ )

Razón total de transferencia de calor

$$Q' = UAs\Delta Tml \quad (17)$$

$U$  = Coeficiente de transferencia de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$As$  = Área superficial ( $m^2$ )

$\Delta Tml$  = Diferencia media logarítmica de temperatura ( $^\circ C$ )

Finalmente, la diferencia media logarítmica de temperatura

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (18)$$

$$\Delta T_1 = T_{hent} - T_{csal} \quad (19)$$

$$\Delta T_2 = T_{hsal} - T_{cent} \quad (20)$$

$T_{hent}$  = Temperatura caliente de entrada (°C)

$T_{hsal}$  = Temperatura caliente de salida (°C)

$T_{cent}$  = Temperatura fría de entrada (°C)

$T_{csal}$  = Temperatura fría de salida (°C)

### 3. Diseño

Para la construcción del intercambiador de calor se hace mediante el software llamado SolidWorks, donde se plantea y diseña la forma, tamaño y características del intercambiador, se opta por un intercambiador de paso múltiple para tener un mejor enfriamiento, en esta primera etapa se muestra en la Figura 1, donde se observa la entrada del fluido por un extremo y sale en el extremo opuesto, así mismo, tiene las tomas de entrada de agua fría y salida de agua la cual al pasar por el interior del intercambiador absorbió calor producido por el fluido, consta de dos tapas que están ensambladas mediante tornillería, la finalidad es poder ver su interior y en un caso real para poder dar mantenimiento a los tubos que se encuentran en su interior.

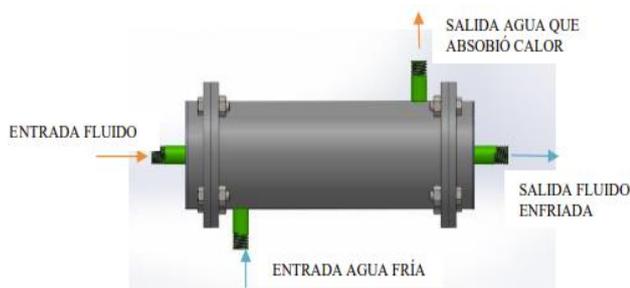


Figura 1. Diseño de intercambiador vista frontal externo.

En la Figura 2 se muestra la parte interna del mismo intercambiador, donde se visualiza el sentido del flujo de los fluidos frío y caliente, así mismo se observa que internamente tiene aletas por lo cual se trata específicamente de un intercambiador de calor de paso múltiple.



Figura 2. Aspecto interno y flujo de agua que enfría y fluido a enfriar.

Para realizar los cálculos es necesario conocer las dimensiones del intercambiador de calor, los cuales tiene una longitud de 200mm, los tubos internos son de ¼” de diámetro interno, los fluidos a utilizar son agua-agua, y la velocidad de flujo másico es de 0.285kg/s. Entonces a partir de la Tabla 3 donde se presentan las propiedades del agua a una temperatura de 60°C que es la temperatura de entrada del agua caliente y a 21.5°C que es la temperatura de entrada del agua fría.

Tabla 3. Propiedades del agua a 60°C y 21.5°C.

60°C	21.5°C
$\rho = 983.3 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 997.7 \text{ kg/m}^3$
$k = 0.654$	$k = 0.6007$
$\mu = 0.467 \times 10^{-3}$	$\mu = 9.687 \times 10^{-4}$
$Pr = 2.99$	$Pr = 6.749$

\* $Pr$  = Número de Prantl estado líquido (Cengel et a, 2019)

Las dimensiones del intercambiador de acuerdo con el diseño realizado en SolidWorks, se muestra en la Figura 3 donde se observa la longitud de 200mm y el diámetro de la carcasa que es de 73mm datos que son importantes para el diseño y encontrar los valores de temperatura a los cuales llegará cuando se encuentre en operación.

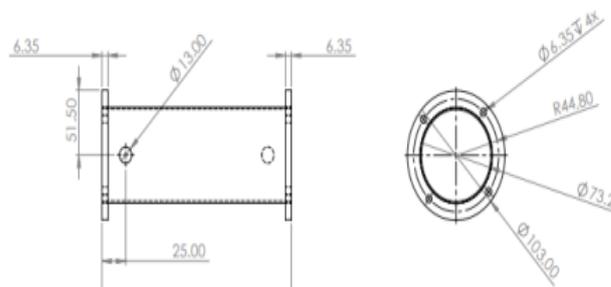


Figura 3. Dimensiones del intercambiador de calor.

En la tabla 4 se muestran los valores obtenidos a partir de los cálculos realizados con las dimensiones del diseño realizado en SolidWorks se considera como material acero inoxidable por su particularidad de evitar corrosión en su contacto con el agua.

Tabla 4. Valores obtenidos del diseño del intercambiador de calor.

Velocidad media	<b>V = 10.25 m/s</b>
Número de Reynolds	Re = 129492.39
Número de Nusselt	Nu = 438.320
Convección tubo interno	$h_i = 47776.88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$
Diámetro hidráulico	Dh = 0.0702mm
Convección tubo externo	$h_o = 425.110 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$
Temperatura entrada fría	Tc, ent = 21.5°C
Temperatura Salida fría	Tc, sal = 31.97°C
Temperatura entrada caliente	Th, ent = 60°C
Temperatura salida caliente	Th, sal = 49.52°C
Diferencial de temperatura	$\Delta T_{ml} = 28.02\text{°C}$

Coefficiente de transferencia de calor	$U = 421.36 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Razón máxima posible de transferencia de calor	$Q_{max} = 72415.512 w$
Número de unidades de transferencia	$NTU = 0.0182$
Capacidad nominal de transferencia de calor del intercambiador	$Q' = 14620.6918 w$

se mezclen, sin embargo, por conductividad térmica se transfiera el calor de un líquido a otro.



Figura 6: Haz de tubos para fluido caliente.

La carcasa junto con el haz de tubos en su interior se muestra en la Figura 7, acondicionado por dos tapas en los extremos donde se instalan los conectores para la alimentación y salida del fluido caliente.

#### 4. Resultados

Como resultado se obtiene la construcción del prototipo de intercambiador de calor, para poder comprobar el análisis matemático realizado, se parte del diseño elaborado en SolidWorks donde en la Figura 4 se observa todos los componentes del dispositivo y su ensamble.

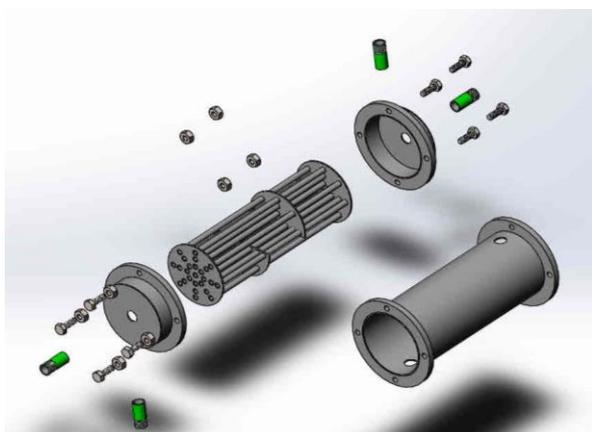


Figura 4. Explosionado de diseño del intercambiador

El primer paso es fabricar la carcasa que alberga el haz de tubos y por donde va a fluir el líquido frío, tiene una salida en cada extremo uno para la alimentación de agua y otro para el retorno del agua al depósito, en la Figura 5 se muestra la carcasa del intercambiador.



Figura 7. Intercambiador de calor con su haz de tubos interno.



Figura 5. Carcasa del intercambiador de calor.

En la Figura 6 se muestra el grupo de haz de tubos que van en el interior de la carcasa, es por donde circula el líquido caliente, este diseño permite que los líquidos frío y caliente no

En la tabla 5 se describen las partes del intercambiador de calor, sus medidas generales y el material con el que se realizó,

Tabla 5. Partes, medidas, y material de construcción

Parte	Medidas	Material
Carcasa	200mm largo x 76.2mm diámetro	Acero inoxidable
Haz de tubos	200mm largo x 1/4" de diámetro	Acero inoxidable
Aletas	3" de diámetro x 1/8" de espesor a medialuna	Acero inoxidable
Tapas	3" diámetro x 30mm de largo	Acero inoxidable
Adaptadores	Niple de 1/2"	Acero inoxidable

Para observar el comportamiento del intercambiador se instala un control como se ve en la Figura 8, que esta provisto de lectores de temperatura, monitorean temperaturas de entrada y salida, además de un interruptor principal para accionamiento de las bombas que hacen circular los fluidos frio y aliente dentro del intercambiador de calor.



Figura 8. Sistema de control.

2:10	21.5	60	24.8	57.7
2:20	21.5	60	24.9	57.5
2:30	21.5	60	25.1	57
2:40	21.5	60	25.6	56.9
2:50	21.5	60	26.2	55.8
3:00	21.5	60	26.9	55
3:10	21.5	60	27.8	54.5
3:20	21.5	60	28.7	53.8
3:30	21.5	60	29.9	52.6
3:40	21.5	60	30.3	51
3:50	21.5	60	30.7	50.8
4:00	21.5	60	31.1	50.2
4:10	21.5	60	31.5	49.7
4:16	21.5	60	31.9	49.5

El prototipo completo se observa en la Figura 9, consta de dos depósitos de agua, uno para fluido caliente y otro para fluido frío, dos bombas para la recirculación de los fluidos y su sistema de control con sus lectores de temperatura.

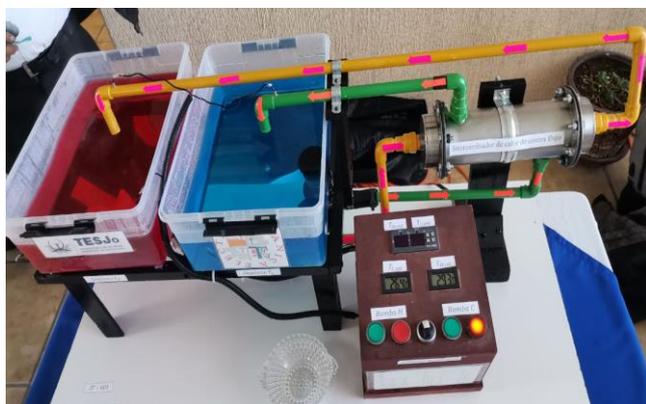


Figura 9. Prototipo completo de intercambiador de calor

En la tabla 6 se muestra el comportamiento del intercambiador de calor en un periodo de tiempo, comenzando con una temperatura inicial de 60°C como fluido caliente y 21.5°C como fluido frío, hasta alcanzar las temperaturas de salida calculadas para agua fría con una temperatura de 31.7°C y para el agua caliente 49.5°C.

Tabla 6. Comportamiento de intercambiador a través del tiempo.

Tiempo	Temperatura de entrada °C		Temperatura de salida °C	
	Tc, ent	Th, ent	Tc, sal	Th, sal
00:00	21.5	60	0	0
00:10	21.5	60	21.9	59.6
00:20	21.5	60	22.1	59.6
00:30	21.5	60	22.3	59.5
00:40	21.5	60	22.5	59.3
00:50	21.5	60	22.6	59.2
1:00	21.5	60	22.9	59
1:10	21.5	60	23.2	59
1:20	21.5	60	23.5	58.9
1:30	21.5	60	23.6	58.8
1:40	21.5	60	23.8	58.6
1:50	21.5	60	24.1	58.1
2:00	21.5	60	24.5	57.8

En la Figura 10 se muestra el número de lecturas tomadas durante la prueba, tomados de la tabla 6; se mantiene estable las temperaturas de entrada del fluido caliente 60°C y del fluido frío 21.5°C, mientras conforme va transcurriendo el tiempo que duró 4:16 minutos, después de los cuales se observa una estabilización de la temperatura lo cual indica que es el momento de la máxima ganancia de calor.

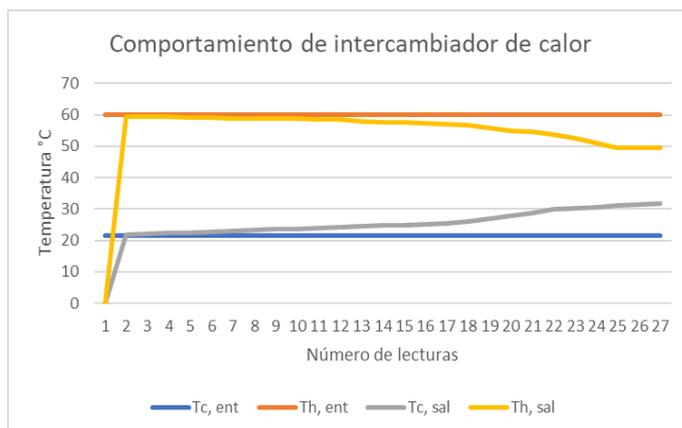


Figura 10. Comportamiento de intercambiador de calor

En el siguiente gráfico se observa el comportamiento de la temperatura dentro del intercambiador donde se consideran las variaciones que tienen los fluidos de entrada y salida, frío y caliente sacando el diferencial entre cada una de estas, la temperatura presenta un descenso hasta llegar a un punto de equilibrio térmico como se observa en la Figura 11.

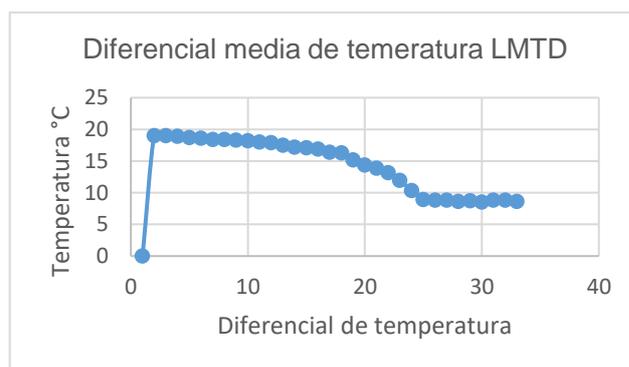


Figura 11. Diferencial de temperatura LMT.

## 5. Conclusiones

Los intercambiadores de calor tienen una amplia aplicación, en área automotriz, como en la industria en general, permiten controlar procesos donde se requiere tener parámetros de temperatura estables, además, son una fuente de control económica y eficaz.

Se obtiene un intercambiador de coraza y tubos con aletas donde se observa el comportamiento de la temperatura de los fluidos frío y caliente mediante los lectores de temperatura.

Para la fabricación del intercambiador de calor se estableció con un material de acero inoxidable por sus propiedades térmicas y por su resistencia a la corrosión, lo cual le ofrece mayor tiempo de vida de trabajo; las dimensiones finales quedan de una longitud de 200mm con 16 tubos internos de 1/4" de diámetro con dos aletas simétricas a medialuna dentro del intercambiador de calor. Con este diseño se logró tener una media de temperatura de 28°C lo que quiere decir que el fluido de trabajo se puede enfriar o calentar esta temperatura.

El diseño adecuado de un intercambiador de calor es necesario para determinar su funcionamiento, el análisis matemático nos permite determinar las temperaturas deseadas para el control dentro de un proceso, posteriormente con ayuda de software como lo es SolidWorks es posible diseñar un elemento tridimensional, el cual se consideran los datos obtenidos a partir del análisis matemático y finalmente poder construir el dispositivo intercambiador de calor.

El análisis también nos permite dentro del diseño determinar que material es el más adecuado para su fabricación debido a sus características térmicas y de conductividad.

Un control mediante equipos eléctricos es fundamental para controlar los parámetros de entrada y así poder obtener las temperaturas adecuadas las cuales se determinan a partir del análisis y el diseño.

## Referencias

- Alfa (2022). Intercambiador de calor, definición, funcionamiento y aplicaciones. Recuperado el 5 de septiembre de 2023 de <https://www.alfalaval.es/productos-y-soluciones/transfencia-de-calor/intercambiadores-de-calor-de-placas/intercambiador-de-calor-definicion-funcionamiento-tipos-y-aplicaciones/>
- Burbano S. (2014). Diseño de un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos. Universidad Santo Tomás, Facultad de ingeniería mecánica, Bogotá, Colombia.
- Boix O. (2018). Diseño térmico y mecánico de un intercambiador de calor. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Cengel et. Al., (2019). Termodinámica (9 ed.) México: Mc Graw Hill.
- Fernández J. J. Díaz F. (2015). Manual de prácticas de CAD utilizando el programa SolidWorks. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 11 de octubre de 2023 de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m9/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_SOLIDWORKS.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_SOLIDWORKS.pdf)
- Jaramillo O. A. (2007). Intercambiadores de calor. Centro de investigación de energía. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 4 de octubre de 2023 de <https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>.
- Sadik et Al, (2012). Heat exchangers, selection, rating, and Thermal design (3 ed.) Nueva York: CRC Press Taylor and Francis group
- TSolucion (2022). Intercambiador de calor: ¿qué es y para qué sirve? Recuperado el 2 de septiembre de 2023 de <https://t-solucion.com/intercambiadores-calor-que-son-sirven/>