

Diseño de una plataforma en Matlab para el análisis térmico de un intercambiador de calor de tubos y coraza

Yimmy Andrey Pacheco Cassiani
CC 1002028483,
Código estudiantil: 201912815084
Correo institucional: yimmy.pacheco@unisimon.edu.co

Luis Armando Pacheco Hernández
CC 1001940985,
Código estudiantil: 201912814335
Correo institucional: luis.pacheco1@unisimon.edu.co

Diego Andres Mercado Meza
CC 1002030113,
Código estudiantil: 201912811747
Correo institucional: diego.mercado@unisimon.edu.co

María Camila Lindarte Zapata
CC 1193560484,
Código estudiantil: 201911411069
Correo institucional: maría.lindarte@unisimon.edu.co

Giovanny De Jesús Vidal Montenegro
CC 1192766163,
Código estudiantil: 2019128100187
Correo institucional: giovanny.vidal@unisimon.edu.co

Trabajo de Investigación del Programa Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial

Tutor:

Yeral Campos Toranzo

RESUMEN

El presente proyecto está basado en el diseño de una plataforma para el análisis térmico de un intercambiador de calor de tubos y coraza. El objetivo de la investigación es realizar el análisis térmico de los intercambiadores de calores de tubos y coraza a partir de la introducción en la plataforma diseñada de los valores de las variables y parámetros que representa el modelo matemático de este tipo de intercambiador de calor. El proyecto fue concebido en tres fases, la primera fase es la de identificación en la cual se determinan las variables y parámetros requeridos en el proceso, como segunda fase se plantea el diseño de la interfaz de la plataforma que permita realizar los cálculos térmicos. Luego en la tercera fase se simula el comportamiento de las variables que permitirán realizar análisis térmico del proceso. Por último, se mostrarán los resultados mediante un informe detallado que permita su análisis.

Los intercambiadores de calor son empleados en los procesos industriales para recuperar calor entre dos fluidos de proceso [1]. Entre los intercambiadores de calor más empleados en la industria moderna se encuentran los de doble tubo, debido fundamentalmente a su simplicidad de diseño y su capacidad para manejar fluidos a altas temperaturas y presiones [2].

El crecimiento de la industria colombiana ha llevado a una gran demanda de intercambiadores de calor, por la complejidad en el diseño y construcción de estos equipos pocas empresas actualmente ofrecen estos servicios. La empresa Siprocah SAS brinda servicios de diseño y construcción de equipos industriales en Bogotá. Pensando ampliar sus campos de servicio por lo que se pretende incluir el diseño de los intercambiadores de calor, específicamente de coraza y tubos, a través de los cuales se puede acceder a gran parte de la industria en el país.

Las ventajas de los procesos interactivos de enseñanza aprendizaje en el sentido de incrementar la eficacia en la transmisión y adquisición del conocimiento son aspectos ampliamente reconocidos y documentados en la literatura de la psicología educativa y cognoscitiva. La acelerada en la evolución de los equipos de cómputo y las tecnologías de información han incrementado su potencial de aplicación en diferentes áreas de la ingeniería, debido a esto se planteó un proyecto interno en el cual mediante unas características dadas se realizó un software para el diseño preliminar de un intercambiador térmico. Este programa fue realizado mediante el uso del software MATLAB y su herramienta para interfaces gráficas Guide; además se le integro la herramienta de Office Excel para generar una hoja de datos del intercambiador con todos los datos calculados.

También es necesario precisar que en cualquier tipo de intercambiador el calor se puede transferir en una sola dirección: del fluido con mayor temperatura hacia el fluido con la menor temperatura; sin embargo, los fluidos utilizados pueden estar en contacto entre ellos o no; en cuyo caso el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos en contacto térmico con las paredes, normalmente metálicas, que separan a estos.

(extenso mínimo de 500 palabras y máximo 1000 palabras)

Antecedentes: El intercambiador de calor de coraza y tubos son equipos con un proceso muy eficiente y sus altas velocidades mejoran la transferencia de calor de forma considerable, una de las ventajas puede ser su bajo costo de mantenimiento, sus altas presiones de trabajo, altas temperatura de operación y su fácil inspección y desmontaje en caso de ampliar el intercambiador, sus aplicaciones se pueden ver la mayoría de las industrias como por ejemplo, farmacéuticas, sanitarias e industriales entre muchas[6].

Para una optimización y análisis del intercambiador de calor de coraza y tubos podemos aplicar un poco lo realizado por Jiang feng Guo, Ming tian Xu, y Lin Cheng [7], que aplicaron un método denominado número del campo sinérgico, esto fue usado para realizar la optimización de los intercambiadores de calor de coraza y tubos. El método lleva implícito dentro de sí varios criterios de optimización, en este caso ellos tomaron la velocidad y el flujo de calor y usaron el método de los algoritmos genéticos para resolver el problema de la optimización, ya para analizar la transferencia de calor en el lado de la coraza utilizaron el método de Bell Delaware. Sin embargo, no se profundiza en otros criterios de optimización y usa un método antiguo para calcular la transferencia de calor en el lado de la coraza.

No obstante, el método de análisis de sensibilidad global usando un algoritmo armónico de búsqueda para poder realizar la optimización de intercambiadores de calor de coraza y tubos. Éste es un método de búsqueda de solución de un problema. Utilizando lo que es el método de Bell Delaware para lograr optimizar tanto el costo

de inversión como de operación. Estos autores plantean que este método de búsqueda de la solución es mucho más efectivo que el de los algoritmos genéticos mencionado anteriormente [8].

El método taborek es uno de los cuales sirve para el cálculo de los intercambiadores de calor de tubo y coraza, es un método muy exacto y confiable que se pudo encontrar en la literatura ya que este método nos predice tanto el coeficiente de transferencia de calor como las caídas de la presión en función de las geometrías de los tubos y sus dimensiones, el flujo de los líquidos y los gases es un proceso que se considera importante en la transferencia de calor, la parte del flujo del lado de la coraza es un poco complejo ya que hay muchos factores como la geometría implicadas y las múltiples trayectorias posible del fluido [9]-[10].

El calor se define como la energía que transita de un sitio a otro o en un determinado cuerpo y se logra saber por las variaciones de la temperatura, a lo que se le conoce como transferencia de calor [11].

Existen formas de cómo se puede transferir el calor que son conducción, convección y radiación:

Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres [12].

Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia [12].

Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra [12].

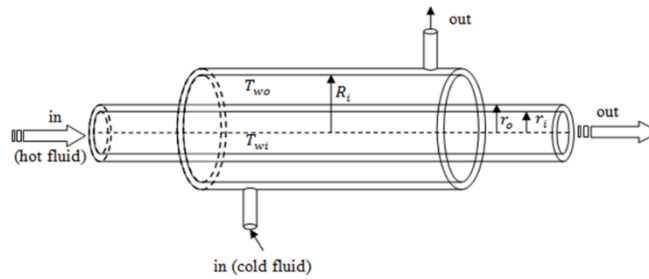
Intercambiador de calor

Es un equipo que cuenta con los materiales adecuados y configuraciones ideales, de tal forma que se pueda transferir calor de un lugar a otro o de un fluido a otro[13], estos dispositivos presentan aplicaciones específicas y se pueden ser encontrados en la calefacción de locales, acondicionamientos de aire, producciones de potencia, recuperación de calor de desechos químicos como de los gases de escape de un vehículo, sistemas de refrigeración en refinerías, cementeras, y en vehículos [11], En un intercambiador la transferencia de calor suele comprender convección en cada fluido y conducción a través de la pared que los separa, así los posibles efectos de la radiación se ven inmersos en los efectos de la convección

hay varios tipos de intercambiadores de calor como:

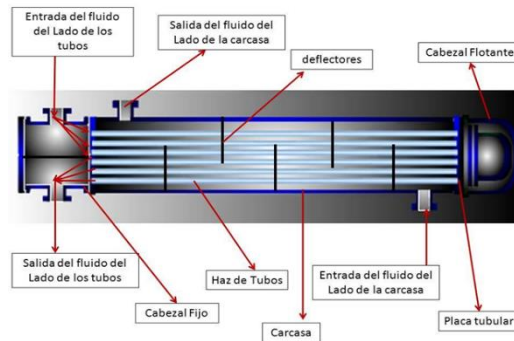
Intercambiador de calor de tubos concéntrico

Este tipo de intercambiador de calor se caracteriza por tener dos tuberías, una que va en el interior de la otra tal como se puede apreciar en la siguiente figura [14].



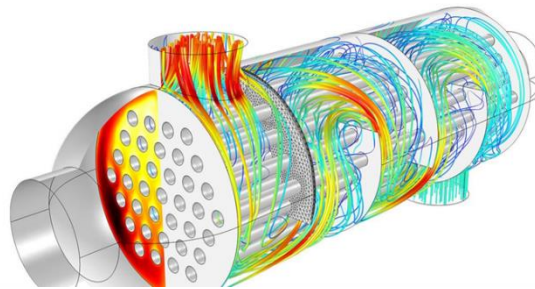
Intercambiador de calor de flujo cruzado.

Como su nombre lo dice estos tipos de intercambiadores se caracterizan porque los flujos que interactúan son cruzados, y son mucho comunes en calefactores o aires acondicionados [15].



Intercambiadores de calor de tubos y coraza

tal como se puede apreciar en la siguiente figura, está configurado de una carcasa que contiene gran cantidad de tubos pequeños en su interior, suele ser uno de los intercambiadores más eficientes [15].



Funcionamiento de los intercambiadores de calor

La función general de un intercambiador de calor es transferir calor de un fluido a otro. Los componentes básicos de los intercambiadores se pueden ver como un tubo por donde un flujo de fluido está pasando mientras que otro fluido fluye alrededor de dicho tubo. Existen por tanto tres intercambios de calor que necesitan ser descritos:

- Transferencia de calor convectiva del fluido hacia la pared interna del tubo.
- Transferencia de calor conductiva a través de la pared del tubo.
- Transferencia de calor convectiva desde la pared externa del tubo hacia el fluido exterior.

Clasificación de intercambiadores de calor

- Basado en el principio de operación: Recuperativo, regenerativo, contacto directo.
- Según el patrón de flujo, los intercambiadores de calor pueden ser: De flujo paralelo, contracorriente, de flujo cruzado.

- Basado en la función de los intercambiadores de calor: Calentador, evaporador, enfriador, condensación parcial, vaporizador, recalentador, condensador, generador de vapor, caldera de calor residual.
- Según el tipo de construcción: De carcasa y tubo, de bayoneta, doble tubo, refrigerado por aire, de espiral, de placa.

Objetivos:

i. Objetivo General

Diseñar una plataforma en el software Matlab, que permita el análisis térmico de un intercambiador de calor de acuerdo con las variables y los parámetros que se establezcan.

ii. Objetivos Específicos

1. Identificar las variables y los parámetros que van a intervenir en el diseño de la plataforma.
2. Diseñar el modelo y controlar los cálculos térmicos de los intercambiadores de calor haciendo el uso del software Matlab.
3. Simular el comportamiento de las variables para analizar el proceso.

Materiales y Métodos:

Este proyecto se basa en el tipo de investigación aplicada debido a que se tiene como objetivo resolver un problema, como lo es la falta del control del funcionamiento y realización del análisis térmico en un intercambiador de calor de coraza y tubos. Por ende, el proyecto está compuesto por 3 fases explicadas en la siguiente tabla.

Fase	Objetivos	Actividades
Fase de identificación	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las variables y los parámetros que van a intervenir en el diseño de la plataforma. 	1 Documentación teórica del proceso
		2 Identificar las variables y parámetros para transferencia de calor
Fase de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el modelo y controlar los cálculos térmicos de los intercambiadores de calor haciendo el uso del software Matlab 	1 Empleo del software de Matlab
		2 Modelos matemáticos del proceso
		3 Control del proceso de transferencia de calor
		4 Diseño de la interfaz de la plataforma
Fase de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Simular el comportamiento de las variables para analizar el proceso. 	1 Simular el proceso de transferencia de calor
		2 Realizar el análisis del proceso en la plataforma
		3 Generar un reporte final de lo obtenido con la plataforma

Palabras clave: *Intercambiador de calor, Matlab, Carcaza y tubo, Análisis Térmico.*

ABSTRACT

Background: The shell and tube heat exchanger is a very efficient process equipment and its high speeds improve the heat transfer considerably, one of the advantages can be its low maintenance cost, high working pressures, high operating temperature and easy inspection and disassembly in case of expanding the exchanger, its applications can be seen in most industries such as pharmaceutical, sanitary and industrial among many [6].

For an optimization and analysis of shell and tube heat exchanger we can apply a little of what was done by Jiang feng Guo, Ming tian Xu, and Lin Cheng [7], who applied a method called synergistic field number, this was used to perform optimization of shell and tube heat exchangers. The method has implicit within it several optimization criteria, in this case they took the velocity and heat flux and used the genetic algorithms method to solve the optimization problem, already to analyze the heat transfer on the shell side they used the Bell Delaware method. However, it does not delve into other optimization criteria and uses an old method to calculate the heat transfer on the shell side.

Nevertheless, the global sensitivity analysis method using a harmonic search algorithm in order to perform shell and tube heat exchanger optimization. This is a problem solution search method. Using the Bell Delaware method to optimize both the investment and operating cost. These authors propose that this solution search method is much more effective than that of genetic algorithms mentioned above [8].

The taborek method is one of the methods used for the calculation of shell and tube heat exchangers, it is a very accurate and reliable method that could be found in the literature since this method predicts both the heat transfer coefficient and the pressure drops depending on the geometry of the tubes and their dimensions, the flow of liquids and gases is a process that is considered important in heat transfer, the shell side flow part is a bit complex as there are many factors such as the geometry involved and the multiple possible paths of the fluid [9]-[10].

Heat is defined as the energy that transits from one place to another or in a given body and is known as heat transfer [11].

There are ways in which heat can be transferred which are conduction, convection and radiation:

Conduction

Conduction is the transfer of energy from the more energetic particles of a substance to adjacent less energetic particles as a result of interactions between those particles. Conduction can take place in solids, liquids or gases. In gases and liquids conduction is due to collisions and diffusion of molecules during their random motion. In solids it is due to the combination of the vibrations of the molecules in a lattice and the transport of energy by free electrons [12].

Convection

Convection is the mode of energy transfer between a solid surface and the adjacent moving liquid or gas and comprises the combined effects of conduction and fluid motion. The faster the motion of a fluid, the greater the convective heat transfer. In the absence of any mass fluid motion, heat transfer between a solid surface and the adjacent fluid is by pure conduction. The presence of mass fluid motion enhances the heat transfer between the solid surface and the fluid, but also complicates the determination of the reasons for that transfer [12].

Radiation

Radiation is the energy emitted by matter in the form of electromagnetic waves (or photons) as a result of changes in the electronic configurations of atoms or molecules. Unlike conduction and convection, heat transfer by radiation does not require the presence of an intervening medium. In fact, heat transfer by radiation is the fastest (at the speed of light) and does not undergo attenuation in a vacuum. This is the way in which the Sun's energy reaches the Earth [12].

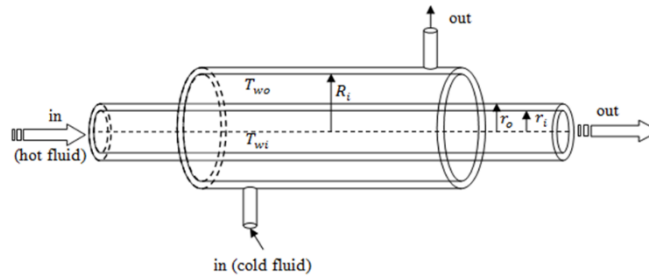
Heat exchanger

It is a device that has the appropriate materials and ideal configurations, so that heat can be transferred from one place to another or from one fluid to another [13], these devices have specific applications and can be found in space heating, air conditioning, power generation, heat recovery from chemical wastes such as vehicle exhaust gases, cooling systems in refineries, cement plants, and in vehicles [11], In a heat exchanger the heat transfer usually involves convection in each fluid and conduction through the wall separating them, thus the possible effects of radiation are immersed in the effects of convection.

there are several types of heat exchangers such as:

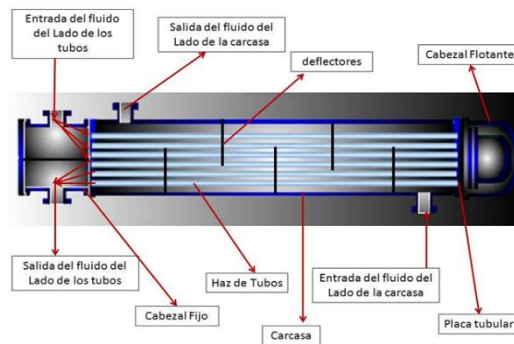
Concentric tube heat exchanger.

This type of heat exchanger is characterized by having two pipes, one going inside the other as can be seen in the following figure [14].



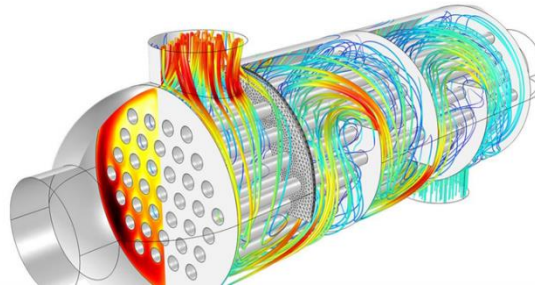
Cross-flow heat exchanger.

As the name implies, these types of heat exchangers are characterized because the interacting flows are crossed, and are very common in heaters or air conditioners [15].



Shell and Tube Heat Exchangers

as shown in the following figure, is configured with a shell containing a large number of small tubes inside, it is usually one of the most efficient heat exchangers [15].



Operation of heat exchangers

The general function of a heat exchanger is to transfer heat from one fluid to another. The basic components of heat exchangers can be viewed as a tube through which one fluid flow is passing while another fluid flows around the tube. There are therefore three heat exchanges that need to be described:

- Convective heat transfer from the fluid to the inner wall of the tube.
- Conductive heat transfer through the tube wall.
- Convective heat transfer from the outer wall of the tube to the outside fluid.

Classification of heat exchangers

- Based on the principle of operation: Recuperative, regenerative, direct contact.
- Based on flow pattern, heat exchangers can be: Parallel flow, counter-flow, cross-flow.

- Based on the function of the heat exchangers: Heater, evaporator, cooler, partial condensation, vaporizer, superheater, condenser, steam generator, waste heat boiler.
- Based on type of construction: Shell and tube, bayonet, double tube, air-cooled, spiral, plate.

Objective:

i. General Objective

To design a platform in Matlab software, which allows the thermal analysis of a heat exchanger according to the variables and parameters to be established.

ii. Specific Objectives

- Identify the variables and parameters that will be involved in the design of the platform.
- To design the model and control the thermal calculations of the heat exchangers using the Matlab software.
- Simulate the behavior of the variables to analyze the process.

Materials and Methods:

This project is based on the type of applied research because it aims to solve a problem, such as the lack of control of the operation and performance of thermal analysis in a shell and tube heat exchanger. Therefore, the project is composed of 3 phases explained in the following table.

Phase	Objectives	Activities
Identification phase	<ul style="list-style-type: none"> • Identify the variables and parameters that will be involved in the design of the platform. 	1 Theoretical documentation of the process
		2 Identify the variables and parameters for heat transfer.
Design phase	<ul style="list-style-type: none"> • Design the model and control the thermal calculations of the heat exchangers using Matlab software. 	1 Use of Matlab software
		2 Mathematical models of the process
		3 Heat transfer process control
		4 Platform interface design
Application phase	<ul style="list-style-type: none"> • Simulate the behavior of the variables to analyze the process. 	1 Simulate the heat transfer process
		2 Perform process analysis on the platform
		3 Generate a final report of the results obtained with the platform.

KeyWords: *Heat exchanger, Matlab, Shell and Tube, Thermal Analysis.*

REFERENCIAS

- [1]. Swamee, P. K., Aggarwal, N., & Aggarwal, V. (2008). Optimum design of double pipe heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 2260–2266.
- [2]. Mazumder, A., and Mandal, B. K. (2016). Numerical Modeling and Simulation of a Double Tube Heat Exchanger Adopting a Black Box Approach. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 6 (4), 35-41.
- [3]. Copete Lopez, H., & Gutierrez Florez, J. (2009). Hacia la mejora del secado mecanico del cafe en colombia. Recuperado el 24 de Mayo de 2022
- [4]. Jaramillo, O. (2007). *INTERCAMBIADORES DE CALOR*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- [5]. d. d. j. p. z. Albeiro Galvis Dia, «diseño de un intercambiador de calor coraza y tubos para optimizar el margen de refinación en la unidad de destilación combinada de la refinería de cartagena (rcsa),» 2014
- [6]. C. E. d. C. S.A., «SACOME,» [En línea]. Available. <https://www.sacome.com/intercambiador-tubular-usos-ventajas-aplicaciones/>.
- [7]. Jiangfeng, G., Mingtian, X. y Lin, C. “The application of field synergy number in shell-and-tube heat exchanger optimization design”. Applied Energy 2009, n° 86, p. 2079–2087. ISSN: 0306-2619
- [8]. Fesanghary, M., Damangir, E. y Soleimani, I. “Design optimization of shell and tube heat exchangers using global sensitivity analysis and harmony search algorithm”. Applied Thermal Engineering 2009, n° 29p.
- [9]. Taborek, J. Recommended method: principles and limitations, in Heat Exchanger Design Handbook., HEDH, New York, USA: Begell House, 2002. ISBN 9781567001822.
- [10]. Taborek, J. “Industrial heat exchanger design practices”, En: Boiler Evaporators, and Condenser. New York , USA: Wiley. 1991. ISBN 978-0471621706
- [11]. Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Educación.
- [12]. Y. A. Cengel, «Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico 3ra ed.,» México, McGrawHill, 2007
- [13]. Jaramillo, O. A. (2007). Intercambiadores de calor. Centro de Investigación en Energía., Mexico DF.
- [14]. B. Karlekar, «Transferencia de calor 2da edicion,» Rochester, McGraw Hill, 1996
- [15]. Jose, C. C. M., David, P. P. J., & Sebastián, S. L. INTERCAMBIADOR DE CORAZA Y TUBO 1-2.
- [16]. Kern, D. Q. (1965). Process Heat Transfer. New York, U.S.A: McGraw-Hill.
- [17]. Perry, R. H. (2008). Chemical Engineers' Handbook (8th ed.). New York, U.S.A: McGraw-Hill.
- [18]. Sigimon, N. B., Jacob, J. K., and Surendran, A. (2015). Thermal designing of shell & tube heat exchanger: a review. Elixir Mech. Engg., 78, 29563-29569.
- [19]. Singh, A., and Sehgal, S. S. (2013). Thermohydraulic Analysis of Shell-and-Tube Heat Exchanger with Segmental Baffles. ISRN Chemical Engineering, 2013, 1-5.
- [20]. Singh, D., and Pal, N. D. (2016). Designing and Performance Evaluation of a Shell and Tube Heat Exchanger using Ansys (Computational Fluid Dynamics). International Journal of Scientific Engineering and Applied Science, 2 (3), 427-446.