UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Memoria Técnica:

"VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE TEMPERATURAS CON DATOS COMPUTACIONALES Y EXPERIMENTALES DE UN INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS"

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

Autor:

Diego Rafael Lasso Lazo

Tutor:

Ing. Paúl Torres Jara

Cuenca - Ecuador

2015

DEDICATORIA

A mis padres, Rubén y Alexandra, que con su amor han probado que existe una manera aún mas excelente de vivir.

A mis hermanos, Santiago, Patricio y Carolina, quienes han sido un refugio en tiempos de dificultad.

Al único digno de recibir la gloria y la honra. A quién ha sido fiel y bueno, a pesar de mis fracasos. A Dios.

Diego

AGRADECIMIENTO

A familia entera, quienes me han inspirado para cumplir todos los sueños por más inalcanzables que parezcan.

Al Ingeniero Paúl Torres, quién ha sido más que un tutor, un amigo y un mentor.

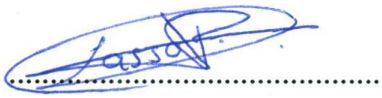
A todos aquellos que creyeron en este sueño.

Diego

DECLARATORIA

Yo, Diego Rafael Lasso Lazo, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual, correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana según lo establecido en la Ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Diego Rafael Lasso Lazo

CERTIFICADO

Certifico, que el presente trabajo de titulación con enfoque investigativo: "VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE TEMPERATURAS CON DATOS COMPUTACIONALES Y EXPERIMENTALES DE UN INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS" realizado por el estudiante: Diego Rafael Lasso Lazo, fue dirigido por mi persona.

Ing. Paúl Torres Jara, MSc.

RESUMEN

En este trabajo se detalla los procedimientos utilizados para concluir en un artículo científico que ha sido aceptado por la revista Ingenious para revisión por pares ciegos. Este documento, a manera de una memoria técnica, contiene el estado del arte del tema a investigar, un procedimiento experimental y un simulado a fin de lograr los objetivos planteados en esta investigación.

La transferencia de calor ocurrida en un intercambiador de calor de carcasa y tubos, provisto por la Universidad Politécnica Salesiana fue analizada, bajo condiciones atmosféricas de la ciudad de Cuenca – Ecuador. Se realizó un estudio de tipo experimental y computacional, a fin de validar los datos de temperaturas obtenidos en agua caliente y fría para el estudio de transferencia de calor y cambio de temperatura entre los distintos fluidos.

Los datos de salida de temperatura para los distintos flujos fueron obtenidos; de manera experimental y luego por simulación computacional en un tiempo de prueba de 60 segundos. Las curvas de tiempo-temperatura fueron obtenidas a partir de los datos finales.

Un análisis de comparativo de resultados fue llevado a cabo para los resultados experimentales y computacionales, concluyendo en un comportamiento similar entre la parte experimental y computacional.

Estos resultados validan los datos obtenidos de transferencia de calor y cambio de temperatura para futuras investigaciones.

Palabras Clave: Intercambiador de calor, temperatura, simulación computacional.

ABSTRACT

In this study the procedures used to conclude in a scientific paper that has been accepted by the journal Ingenious for blind peer review. This document, by way of a technical report contains the state of the art research topic, an experimental and simulated method to achieve the objetives in this research.

Heat transfer occurred on a shell and tube heat exchanger, provided by the Salesian Polytechnic University was analyzed under atmospheric conditions of the city of Cuenca - Ecuador. An experimental and computational study was carried out in order to validate the temperature data. Hot and cold water was used to study the heat transfer and temperature change between different fluids. Temperature data output for different flows were obtained, first experimentally and then by computer simulation in a time trial of 60 seconds. Performance curves were obtained from the final data. A benchmarking analysis was carried out for experimental and computational results. The performance curves concluded in a similar behavior between experimental and computational simulation, validating the experimental and computational results for future research.

Keywords: *Heat exchanger, temperature, computational simulation.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1**

1.1 Situación problemática 1

1.2 Formulación del problema 2

1.3 Justificación del trabajo 2

1.4 Objetivos 3

1.4.1 Objetivos general 3

1.4.2 Objetivos específicos 3

2. **MARCO TEÓRICO 3**

2.1 Antecedentes del problema 3

2.2 Bases teóricas 4

2.3 Marcos conceptuales o glosario 5

3. **HIPOTESIS Y VARIABLES 6**

3.1 Hipótesis general 6

3.2 Hipótesis especificas 6

3.3 Operacionalización de variables 7

3.3.1 Definición de Variables 7

3.4 Matriz de consistencia 8

4. **METODOLOGIA 9**

4.1 Tipo y diseño de investigación 9

4.2 Tipo de Estudio: 9

4.3 Grado de abstracción 9

4.4 Grado de generalización 9

4.5 Naturaleza de los datos 9

4.5.1 Orientación 10

4.6 Manejo de variables 10

4.7 Diseño de investigación 10

4.8 Características del estudio 11

4.9 Proceso formal 11

4.9.1 Método hipotético-deductivo: 11

4.9.2 Método Experimental: 11

4.10 Técnicas de recolección de datos 12

4.11 Análisis e interpretación de la información 12

4.11.1 Curvas de Comportamiento 12

5. ESTADO DEL ARTE DE VALIDACIONES DE DATOS EXPERIMENTALES Y COMPUTACIONALES DE INTERCAMBIADORES DE CALOR 12

5.1 Introducción 12

5.2 Intercambiadores de calor de carcasa y tubos 13

5.3 Validación de datos 14

5.4 Herramientas Computacionales 15

6. PROCESO EXPERIMENTAL: OBTENCIÓN DE VALORES DE TEMPERATURA DE SALIDA EN UN INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS DE MANERA EXPERIMENTAL 16

6.1 Introducción. 16

6.2 Obtención de Datos experimentales 17

6.2.1 Adiestramiento en el maneo de Equipo 17

6.2.3 Selección de sentidos de flujo 21

6.2.4 Parametrización de caudales y temperaturas de entrada 22

6.2.5 Proceso de adquisición de datos en tiempo real 23

6.2.6 Datos en tiempo real. 24

6.2.7 Curvas de comportamiento 25

7. **SIMULACIÓN COMPUTACIONAL: VALIDACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y COMPUTACIONALES. 26**

7.1 Introducción. 26

7.2 Herramienta computacional. 27

7.2.1 Diseño tridimensional. 27

7.2.2 Complemento Flow Simulation. 28

7.2.3 Condiciones de Frontera. 29

7.2.4 Mallado. 30

7.2.5 Objetivos de Medición. 31

7.3 Simulación. 32

7.3 Resultados. 33

a. Datos computacionales. 33

b. Termografía 35

7.4 Análisis de resultados (Validación de Datos) 39

7.5 Conclusiones 42

7.6 Recomendaciones y futuras investigaciones 43

8. **PRESUPUESTO 43**

5.1 Talento Humano 43

5.2 Recursos 43

9. **CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 44**

BIBLIOGRAFIA 50

ANEXOS 52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de Investigación. 10
Figura 2 Tipo de Estudio 11
Figura 3. Esquema de Intercambiador de calorigura 1 13
Figura 4. Intercambiador de carcasa y tubos. 19
Figura 5. Módulo de conexión a PC. 19
Figura 6. Software HT33. 20
Figura 7. Sentido de flujo de fluidos. 21
Figura 8. Sentido de flujo para fluidos. 22
Figura 9. Parametrización de caudal. 23
Figura 10. Parametrización de temperatura. 23
Figura 11. Parametrización de captura de datos. 24
Figura 12. Valores de temperatura experimentales. 25
Figura 13. Herramienta computacional. 27
Figura 14. Diseño tridimensional 28
Figura 15. Complemento Flow Simulation. 28
Figura 16. Selección de Materiales. 29
Figura 17. Ingreso de datos. 30
Figura 18. Selección de calidad de Mallado. 31
Figura 19. Selección de objetivos de medición. 32
Figura 20. Interfaz de simluación. 32
Figura 21. Exportación de Objetivos. 33
Figura 22. Curvas de comportamiento temperaturas de salida agua caliente. 40
Figura 23. Curvas de comportamiento temperaturas de salida agua fría. 41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Consistencia 8
Tabla 2. Características del intercambiador. 18
Tabla 3. Parámetros ambientales. 20
Tabla 4. Valores de Caudal y tempertura iniciales. 22
Tabla 5. Datos experimentales en tiempo real. 24
Tabla 6. Características del tipo de mallado. 31
Tabla 7. Temperaturas de salida agua caliente simuladas 34
Tabla 8. Temperaturas de salida agua fría simuladas 35
Tabla 9. Temperaturas de salida simuladas. 36
Tabla 10. Corte Longitudinal. 38
Tabla 11. Presupuesto talento humano. 43
Tabla 12. Presupuesto de recursos materiales. 43
Tabla 13. Cronograma de actividades. 44
Tabla 14. Cronograma Fechas. 46

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

Actualmente, el interés de la comunidad científica por mejorar los procesos industriales reduciendo costo, tiempo, residuos contaminantes y márgenes de error, se ha convertido en una de las principales ramas de la investigación. Dentro de este marco, los procesos termodinámicos más comunes que se llevan a cabo en casi toda industria de producción son los intercambiadores de calor.

Estos intercambiadores se usan en procesos tales como: disipadores de calor, refrigeración, mezcla de elementos, etc. En consecuencia, se usan en prácticamente todo proceso industrial, desde enfriar el aceite de maquinaria industrial hasta el refrigerador doméstico ubicado en nuestra cocina. El proceso llevado a cabo en los intercambiadores de calor juega un papel importante en el rendimiento de la maquinaria. Los procesos de mejoras para estos elementos, se realizan de manera computacional, simulando los resultados que tendría la parte experimental. Previamente, los resultados experimentales deben validarse con simulación.

De esta manera se trabaja posteriormente sobre las simulaciones ahorrando costes en los procesos. Actualmente existen herramientas computacionales que nos permiten simular estos procesos. La industria Ecuatoriana, a pesar del gran desarrollo que ha tenido en la última década, aún se encuentra en un subdesarrollo en temas de simulación y validación por software. La falta de métodos de simulación acordes a nuestro medio ha restringido el que podamos ser competentes en este aspecto. La Industria Ecuatoriana necesita empezar a utilizar herramientas computacionales para simular procesos industriales, a fin de aumentar el rendimiento, la calidad y la producción para volvernos competentes con las industrias internacionales.

1.2 Formulación del problema

Luego de haber revelado la importancia de los intercambiadores de calor, es necesario un método de simulación que nos permita obtener, bajo diferentes condiciones, los mismos resultados experimentales. Debido al alto costo que conlleva desarrollar pruebas experimentales en intercambiadores de calor reales, un método de simulación permitiría predecir resultados por adelantado, ahorrando recursos en tiempo y dinero; esto permitiría realizar correcciones en variables como: número de tubos, materiales de construcción, velocidades y caudales de entrada - salida, sentido de flujo, etc. Con lo cual se conocería el incremento o reducción en la eficiencia del proceso, permitiendo obtener buenos resultados y ahorrando costes en los procesos de producción. Actualmente no existe un método de simulación aplicado a condiciones atmosféricas y térmicas, lo que imposibilita el desarrollo industrial en este aspecto.

1.3 Justificación del trabajo

El trabajo de investigación, buscará suplir la necesidad planteada anteriormente, validando los resultados experimentales obtenidos en un intercambiador de carcasa y tubos de la Universidad Politécnica Salesiana mediante una herramienta computacional obteniendo un margen de error aceptable.

La validación de los resultados experimentales y computacionales será desarrollada bajo las condiciones térmicas y atmosféricas de nuestro medio, sirviendo de base para futuras investigaciones enfocadas a elevar la eficiencia del proceso, sustituir materiales de construcción, cambiar velocidades de flujo, etc. Elevando la competitividad de la industria local y reduciendo costes en los procesos de fabricación.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos generales

Validar los resultados experimentales obtenidos en un intercambiador de calor de Laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana mediante simulación computacional.

1.4.2 Objetivos específicos

a) Recopilar investigaciones referentes al tema, para dar relevancia temporal a dicha revisión.
b) Realizar mediciones experimentales y obtener curvas de comportamiento que serán luego validadas mediante simulación.
c) Realizar la simulación y validar el método obteniendo un margen de error aceptable entre los datos experimentales y los datos obtenidos de la simulación.
d) Escribir un artículo científico sobre el proceso y someterlo a publicación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

El interés científico por el estudio de la simulación de los procesos de Ingeniería está en aumento con el paso de los años [1]. El poder simular y analizar los procesos de Ingeniería de manera anticipada permite ahorrar costes en comparación con el desarrollo experimental. De igual manera el poder contar con una herramienta de simulación permite una mayor libertad en desarrollar nuevos diseños y mejoras. El campo de la termodinámica no se queda atrás, y con ello los intercambiadores de calor, dada su importancia en los procesos industriales son una de las primeras ramas que se busca potencializar, mejorando su eficiencia y comportamiento. Los intercambiadores de tubos y carcasa constituyen cerca del 37 % de los intercambiadores usados en la industria [2]. La capacidad de simular el comportamiento de estos elementos nos permitiría desarrollar nuevas técnicas de uso,

mejorar eficiencia y reducir el costo de producción. Las investigaciones están enfocadas a mejorar la transferencia de calor, reducir la fricción entra fluido y superficie y utilizar cada vez áreas de transferencia menores [3] [4].

2.2 Bases teóricas

El desarrollo de simulaciones e investigaciones permite reducir el costo de los procesos de producción, optimizando económicamente el proceso [5] [6]. Los datos de temperatura pueden obtenerse mediante pruebas experimentales o simulación computacional. Se ha demostrado que no solamente influye el tipo de material a utilizar sino también la geometría del mismo [7].

Estas simulaciones no solo sirven para aumentar la eficacia de un solo proceso sino también para comparar el comportamiento de distintos tipos de intercambiadores en determinadas situaciones, incorporación de elementos contaminantes, vida útil de materiales, etc [8] [9] [10]. Los modelos de simulación permiten conocer este tipo de comportamiento. Sin embargo previo a desarrollar y trabajar sobre simulaciones, es necesario validar esa información.

Este trabajo tiene como objetivo validar los resultados obtenidos de manera experimental mediante simulación computacional. Posteriormente, servirá como base para futuras investigaciones.

2.3 Marcos conceptuales o glosario

Intercambiador de Calor.- Elemento utilizado para la trasferencia de calor generalmente de un fluido a otro[1].

Intercambiador de Calor de Carcasa y tubos.- Funciona como intercambiador de calor mediante el traslado de un fluido por la carcasa, y otro por los tubos en igual o diferente sentido[2].

Conductividad Térmica.- Es la propiedad de los cuerpos capaces de conducir el calor[3].

Temperatura de Entrada.- La temperatura inicial o temperatura de Entrada, es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente previamente a un proceso termodinámico[4] .

Caudal.- Cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo[5].

Sentido.- Cada una de las dos orientaciones opuestas de una misma dirección[6].

---

[1] https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor
[2] https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor_de_carcasa_y_tubos
[3] Tomado de: http://definicion.de/conductividad/
[4] Tomado de: http://definicion.de/temperatura/
[5] http://lema.rae.es/drae/srv/search?key=caudal
[6] http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=BWeGAaLb2DXX2Dv2Mo3h

Material de los tubos.- Materia prima de la cual están compuestos los tubos del intercambiador, en referencia a sus propiedades como: conductividad térmica y densidad[7].

Área de contacto de los Tubos.- Superficie que se separa y se encuentra en contacto directo con los dos fluidos[8].

3. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis general

La comparación entre los resultados entre la parte experimental y numérica tienen un margen de error aceptable.

3.2 Hipótesis especificas

Las curvas de comportamiento de la parte experimental versus la computacional tienen la misma tendencia. Esto es las curvas de variación y estabilización de la temperatura.

[7] http://es.slideshare.net/n.ando/tubos-y-tuberias
[8] http://www.ditutor.com/geometria_espacio/area_cilindro.html

3.3 Operacionalización de variables

3.3.1 Definición de Variables

a) **Variables Continuas Entrada (Variables Independientes):**

Temperatura de Entrada.- La temperatura inicial o temperatura de Entrada, es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente previamente a un proceso termodinámico[9] .

Caudal.- Cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo[10].

Sentido.- Cada una de las dos orientaciones opuestas de una misma dirección[11].

b) **Variables Intervinientes (Variables asociadas o contaminantes)**

Número de tubos.- Cantidad de tubos utilizados en el intercambiador de calor.

Material de los tubos.- Materia prima de la cual están compuestos los tubos del intercambiador, en referencia a sus propiedades como: conductividad térmica y densidad.

Área de contacto de los Tubos.- Superficie que se separa y se encuentra en contacto directo con los dos fluidos.

---

[9] Tomado de: http://definicion.de/temperatura/
[10] http://lema.rae.es/drae/srv/search?key=caudal
[11] http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=BWeGAaLb2DXX2Dv2Mo3h

Material de carcasa.- Materia prima de la cual está hecha la carcasa, en referencia a sus propiedades como: conductividad térmica y densidad.

c) **Variables de Salida (Indicadores)**

Temperatura de Mezcla.- La temperatura de mezcla o temperatura estabilizada es aquella que se obtiene luego del proceso de intercambio de calor.

3.4 Matriz de consistencia

Tabla 1. Matriz de Consistencia

Problema General	**Objetivo General**	**Marco Teórico**	**Hipótesis General**	**Variable**	**Metodología**
La no existencia de un método de simulación computacional que valide los resultados experimentales en intercambiadores de calor aplicados a nuestro medio y bajo nuestras condiciones térmicas y atmosféricas.	Validar un método de simulación computacional que obtenga resultados semejantes a la contraparte experimental.	Antecedentes	La comparación entre resultados experimentales y simulados tiene un margen de error aceptable.	Variables Independientes Temperatura de entrada Caudal Sentido de flujo Variables Dependientes Temperatura de Mezcla Tiempo de Mezcla	Método hipotético-deductivo Método Experimental:

4. METODOLOGIA

4.1 Tipo y diseño de investigación

Clasificación: La investigación presentada será una **Investigación de Laboratorio.**

4.2 Tipo de Estudio:

Estudio Correlacional: Relacionará los resultados en dos contrapartes distintas, una experimental y una simulada, y validará el método de simulación.

4.3 Grado de abstracción

Investigación Aplicada: Buscará resolver un problema concreto y validar un método de simulación.

4.4 Grado de generalización

Investigación Acción: Dado que relaciona la parte experimental y la simulación computacional.

4.5 Naturaleza de los datos

Metodología Cuantitativa: Dado que se maneja variables físico-químicas la naturaleza de los datos será Cuantitativa

4.5.1 Orientación

Investigación orientada a conclusiones: Debido a la naturaleza de los datos.

4.6 Manejo de variables

Investigación Experimental: Dado que la investigación utilizará variables cuantitativas basadas en fenómenos físico-químicos.

4.7 Diseño de investigación

El diseño de la investigación será:

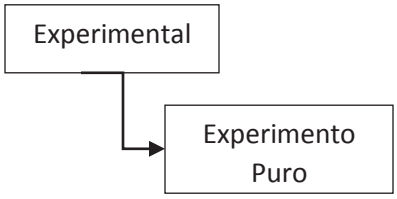


Figura 1. Diseño de Investigación.

4.8 Características del estudio

El estudio será de tipo:

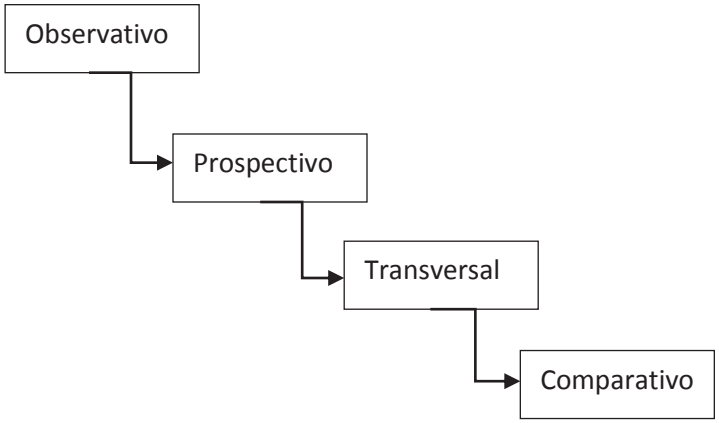


Figura 2 Tipo de Estudio

4.9 Proceso formal

4.9.1 Método hipotético-deductivo:

La investigación parte sobre la hipótesis planteada con anterioridad y buscará la validez de la misma a través de un proceso deductivo.

4.9.2 Método Experimental:

Se realizará la parte experimental en el Laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana que luego será sometida a validación computacional.

4.10 Técnicas de recolección de datos

La recolección de Datos se realizará en base a la Observación. Tanto para la parte Experimental como para su contraparte simulada.

4.11 Análisis e interpretación de la información

4.11.1 Curvas de Comportamiento

Se utilizarán curvas de comportamiento entre los resultados obtenidos en la parte experimental y su contraparte teórica.

5. ESTADO DEL ARTE DE VALIDACIONES DE DATOS EXPERIMENTALES Y COMPUTACIONALES DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

5.1 Introducción

El presente capitulo presenta una revisión de la literatura existente y relacionada con investigaciones previas enfocadas a utilizar herramientas computacionales para la validación de datos experimentales de temperatura en intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

5.2 Intercambiadores de calor de carcasa y tubos

Los intercambiadores de calor son dispositivos que permiten la transferencia de calor entre 2 fluidos a diferentes temperaturas sin que exista mezcla entre ambos. Estos dispositivos son usados en todo tipo de industrias [11] [12]. Alrededor del 37% de los intercambiadores de calor utilizados en la industria son de carcasa y tubo [13]. Estos intercambiadores de calor constructivamente están conformados de una carcasa externa por la cual circula uno de los fluidos y varios tubos por los cuales circula el otro fluido, sin que estos se mezclen. Su funcionamiento se basa en la transferencia de calor por medio de conducción y convección.

El funcionamiento se centra como se ha expresado anteriormente en la transferencia de calor entre los fluidos sin que exista mezcla entre ambos. El primer fluido ingresa por la carcasa y llena el espacio alrededor de los tubos. El segundo fluido ingresa directamente a los tubos, los cuales pueden subdividirse en cualquier cantidad dependiendo del tipo de intercambiador, su tamaño, el tipo de material y las temperaturas de trabajo.

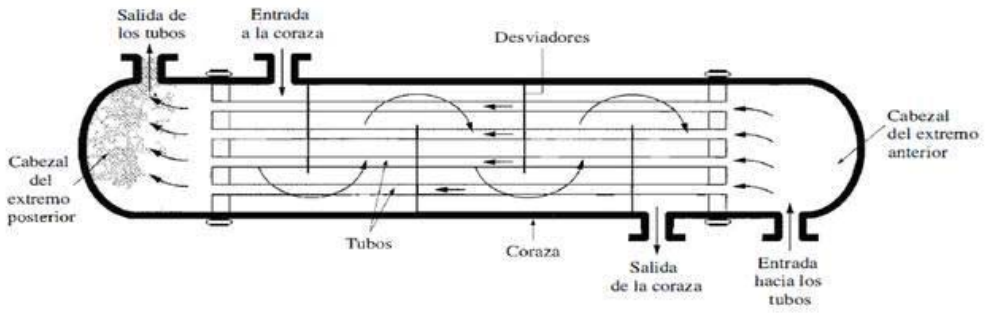


Figura 3. Esquema de Intercambiador de calor 1[12]

La dirección de los flujos puede ser concurrente o contra corriente. Luego de haber revelado la importancia de los intercambiadores de calor, es necesario un método de simulación que nos permita obtener, bajo diferentes condiciones, los mismos resultados que podrían obtenerse de manera experimental. Debido al alto costo que conlleva

[12] Tomado desde: http://www.monografias.com/trabajos102/review-diseno-y-optimizacion-intercambiadores-calor-tubo-y-coraza/review-diseno-y-optimizacion-intercambiadores-calor-tubo-y-coraza.shtml

desarrollar pruebas experimentales en intercambiadores de calor reales, un método de simulación permitiría predecir resultados por adelantado, ahorrando recursos en tiempo y dinero.

Esto permitiría realizar correcciones en variables como: número de tubos, materiales de construcción, velocidades y caudales de entrada - salida, sentido de flujo, etc. Con lo cual se conocerían el incremento o reducción en la eficiencia del proceso, permitiendo obtener resultados y ahorrar costes [14]. Actualmente no existe un método de simulación aplicado a nuestro medio, y bajo nuestras condiciones atmosféricas y térmicas, lo que imposibilita el desarrollo industrial.

5.3 Validación de datos

El trabajo de investigación, buscará suplir la necesidad planteada anteriormente, validando los resultados experimentales obtenidos en un intercambiador de carcasa y tubos de la Universidad Politécnica Salesiana mediante una herramienta computacional obteniendo un margen de error aceptable.

La validación de los resultados experimentales y computacionales será desarrollada bajo las condiciones térmicas y atmosféricas de nuestro medio, sirviendo de base para futuras investigaciones enfocadas a elevar la eficiencia, sustituir materiales de construcción, cambiar velocidades de flujo, etc. Elevando la competitividad de la industria local y ahorrando costes.

5.4 Herramientas Computacionales

El uso de herramientas computacionales nos permite incrementar la eficacia de estos dispositivos realizando correcciones a los diseños y a las diferentes condiciones de uso, ahorrando costes en la producción. Las simulaciones de comportamiento estacionario son muy útiles no solo para el diseño sino para análisis de comportamientos transitorios en estos dispositivos. Se han validado métodos de simulación con redes artificiales (ANN) con hasta tres intercambiadores de calor distintos [15]. La desviación máxima en los resultados obtenidos fue de hasta un 2%. De igual manera se utilizó simulación para validar los resultados experimentales para intercambiadores de calor utilizados en refrigeración, concretamente en evaporadores y condensadores. Los resultados comparativos estuvieron dentro de un margen de 8% y posteriormente se utilizó simulación para predecir la mejora en la eficiencia del intercambiador esto es hasta un 8.3% [16].

El uso de códigos CFD para simular la transferencia de calor en un intercambiador de placas es ampliamente utilizado y los resultados obtenidos se validaron de manera experimental. Se ha demostrado la efectividad del código CFD para la simulación [17]. También se han usado datos de simulación para desarrollar un modelo de intercambiador de calor para refrigerar bombas de calor residenciales. Los resultados obtenidos les permitieron mejorar la eficiencia en un 44% al validarlo con cuatro diferentes tipos de refrigerante [10]. Las validaciones de los resultados experimentales también pueden realizarse mediante software o por cálculo numérico. Se han realizado comparaciones entre los resultados numéricos y experimentales para la transferencia de calor en un intercambiador de calor de carcasa y tubos. Los resultados fueron muy satisfactorios y se propusieron mejoras mediante el cálculo numérico [18].

La eficiencia en los procesos de transferencia de calor y sistemas de recuperación de calor están estrictamente relacionados con el diseño de un intercambiador de calor adecuado Los estudios realizados buscan incrementar la eficacia en los intercambiadores, variando diferentes condiciones hasta encontrar los mejores resultados [14]. La validación de los

resultados experimentales y computacionales será desarrollada bajo las condiciones térmicas y atmosféricas de nuestro medio, sirviendo de base para futuras investigaciones enfocadas

6. PROCESO EXPERIMENTAL: OBTENCIÓN DE VALORES DE TEMPERATURA DE SALIDA EN UN INTERCAMBIADOR DE CARCASA Y TUBOS DE MANERA EXPERIMENTAL

6.1 Introducción.

En este capítulo se describe el proceso de obtención de valores de temperatura de salida en un intercambiador de carcasa y tubos de manera experimental. Los intercambiadores de calor de carcasa y tubos tienen la propiedad de realizar transferencia de calor sin que exista contacto entre los fluido en cuestión.

El objetivo principal de un intercambiador es realizar cambios en la temperatura de un fluido previo a un proceso industrial, dependiendo de las características propias del proceso y de las necesidades a las que estará sometido el fluido de trabajo.

Por lo general se utilizan intercambiadores de calor para refrigerar un fluido luego de haber sido sometido a un proceso de trabajo. Sin embargo en ocasiones también se puede requerir elevar la temperatura de un fluido previo a realizar un trabajo. Esta investigación está enfocada a validar los datos de temperatura de salida en dos puntos del intercambiador utilizado. Uno es la temperatura de salida del fluido caliente o a refrigerar y otro es la temperatura de salida del fluido frio o refrigerante.

La realización del proceso experimental es de mucha relevancia en esta investigación ya que sobre sus resultados se realizarán las simulaciones computacionales y se procederá a validar la herramienta de cálculo.

6.2 Obtención de Datos experimentales

Para el proceso experimental se utilizó un intercambiador de carcasa y tubos de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. El equipo forma parte del Laboratorio de Termo fluidos de la carrera de Ingeniería Mecánica.

El proceso de obtención de datos experimentales se realizó en tres etapas: Adiestramiento en el manejo del equipo, Revisión del estado y funcionamiento del equipo, Puesta a punto de equipos a utilizar, Medición de parámetros ambientales implicados en el proceso, Selección de sentidos de flujo, Parametrización de caudales y temperaturas a utilizar, Configuración del proceso de toma de datos experimentales.

6.2.1 Adiestramiento en el manejo de Equipo

Como primer paso se procedió a familiarizarse con el manejo de los equipos a utilizar, estos incluyen:

6.2.1.1 Intercambiador de Calor de carcasa y tubos Armfiled HT33

El intercambiador de calor provisto por Armfiled HT33 es un intercambiador de calor de carcasa y tubos, construido en acero inoxidable y material acrílico. Las características del intercambiador de calor se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características del intercambiador.

Característica	DESCRIPCIÓN
Marca	Armfield
Tipo	Carcasa y tubos
Número de tubos	7
Material de los tubos	Acero inoxidable
Largo de los tubos	144mm
Diámetro exterior del tubo	6.35mm
Diámetro interior del tubo	5.15mm
Material de la carcasa	Acrílico
Número de deflectores	2
Material de los deflectores	Acrílico

El intercambiador de calor se puede apreciar con mayor detalle en la Figura 4.

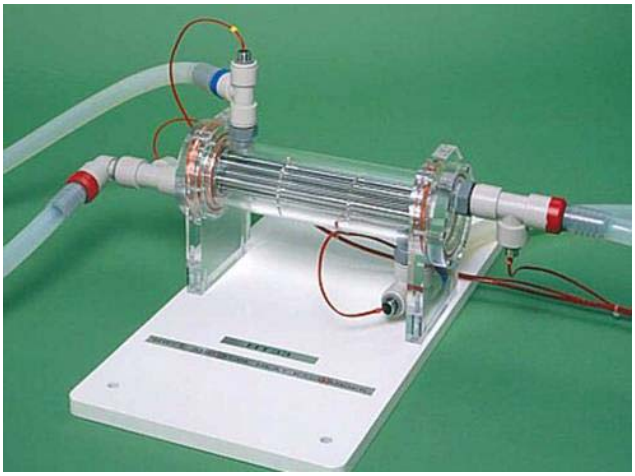


Figura 4. Intercambiador de carcasa y tubos.

6.2.1.2 Módulo de conexión a PC para captura de Datos Armfield HT30

El módulo de conexión a PC Armfield HT30 nos permite realizar la adquisición de datos en tiempo real mediante el uso de termocuplas y caudalimetros que censan las variables a utilizar durante el proceso experimental. El módulo y su conexión al intercambiador se pueden apreciar de mejor manera en la Figura 5.

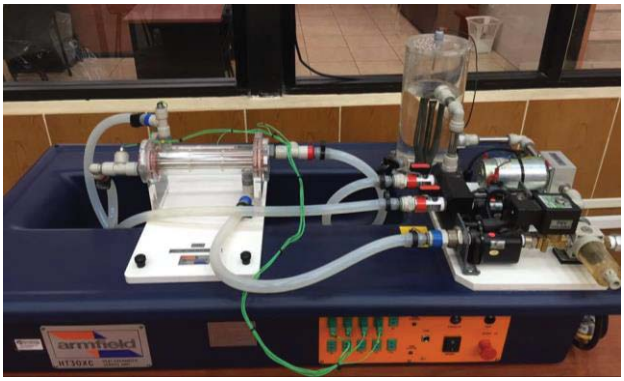


Figura 5. Módulo de conexión a PC.

6.2.1.3 Software

El software utilizado para el proceso de captura de datos en tiempo real es Heat Exchanger Armfield HT33 provisto por Armfiled y que viene integrado con el módulo de conexión a PC. La Figura 6 muestra el software provisto por Armfield.

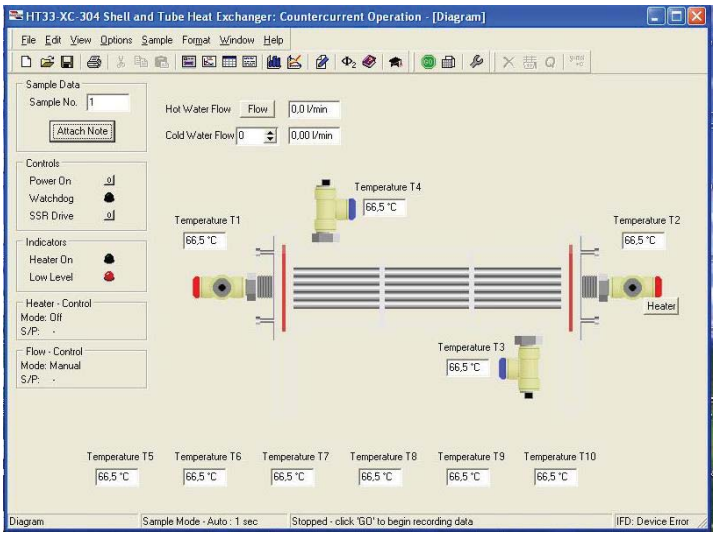


Figura 6. Software HT33.

6.2.2 Medición de Parámetros Ambientales

Los parámetros ambientales implicados en este proceso tienen una vital importancia en la validación de datos, debido a que no se han realizado investigaciones previas en este campo aplicado a la industria Ecuatoriana y menos a la ciudad de Cuenca. Los parámetros ambientales obtenidos se mencionan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros ambientales.

Variable	Valor
Presión atmosférica	75.19kPa
Temperatura ambiente	18.05°C

La presión atmosférica y la temperatura ambiental se obtuvieron con un medidor de temperatura ambiente y humedad relativa JUMO con sensores de alambre de platino. La medición se realizó según la norma DIN 60751..

6.2.3 Selección de sentidos de flujo

El sentido de flujo produce resultados muy distintos en el comportamiento de los equipos. Básicamente el sentido de flujo puede incrementar o reducir la cantidad de calor transferida en un porcentaje bastante elevado. Para esta investigación se utilizó un sentido de flujo a contra corriente, es decir, el sentido de flujo de los fluidos será opuesto. La Figura 7 muestra el esquema de sentidos de flujo a utilizarse.

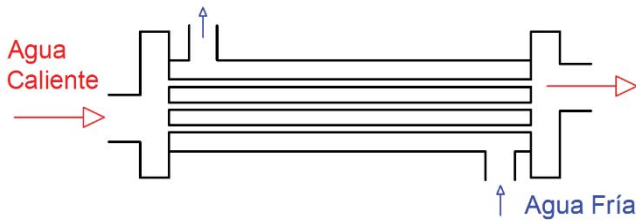


Figura 7. Sentido de flujo de fluidos.

De igual manera se deben seleccionar los sentidos de flujo en el software para la realización del proceso experimental. La Figura 8 muestra la selección de los sentidos de flujo en el software.

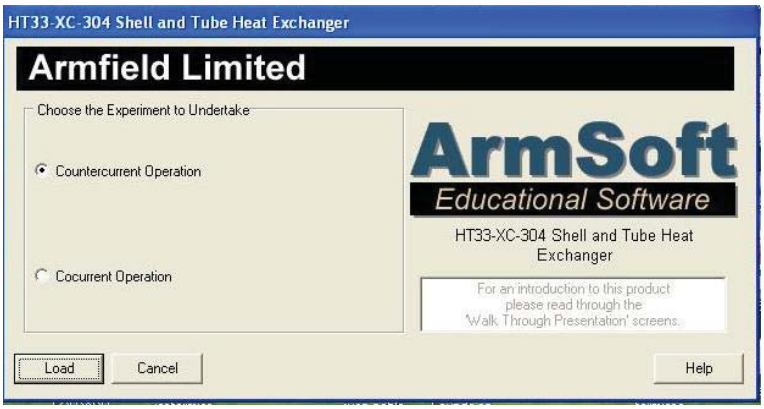


Figura 8. Sentido de flujo para fluidos.

6.2.4 Parametrización de caudales y temperaturas de entrada

Los valores que deben parametrizarse para este proceso son básicamente dos: Caudal y temperatura. Estos se aplican tanto para fluido de agua caliente y fluido agua fría. La Tabla 4 muestra los valores parametrizados para realizar el proceso experimental.

Tabla 4. Valores de Caudal y temperatura iniciales.

Variable	Valor
Temperatura agua caliente	56.5 °C
Caudal agua caliente	3 lt/min
Temperatura agua fría	15.3 °C
Caudal agua fría	3.7 lt/min

La Figura 9 muestra la parametrización de caudal en el software y la Figura 10 muestra la parametrización de temperatura. Estos valores serán controlados por un PID que viene con los valores por defecto del software.

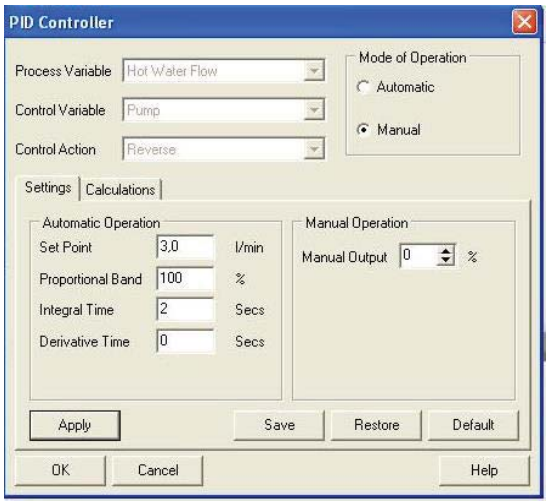


Figura 9. Parametrización de caudal.

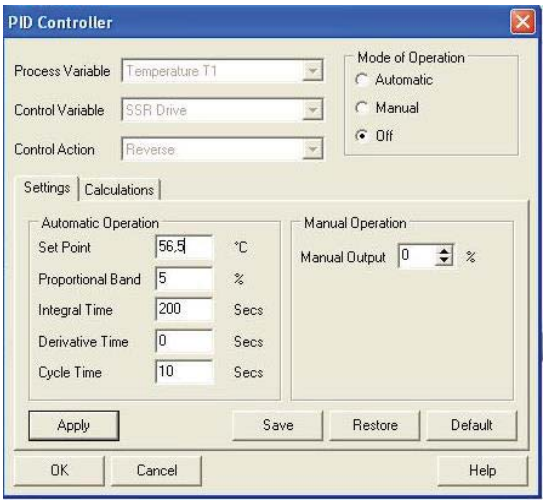


Figura 10. Parametrización de temperatura.

6.2.5 Proceso de adquisición de datos en tiempo real

El proceso de adquisición de Datos debe ser parametrizado en el software Heat Excahnger Armfield HT33. Para este proceso se utilizó una captura de datos de temperatura automática (cada segundo). La Figura 11 muestra la parametrización en el software.

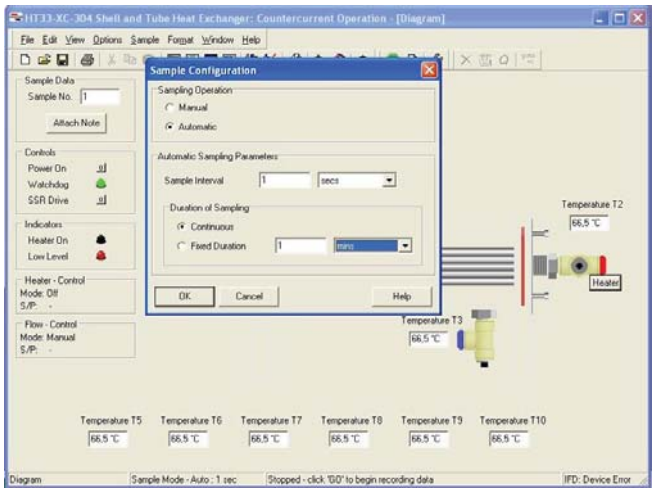


Figura 11. Parametrización de captura de datos.

6.2.6 Datos en tiempo real.

Bajo todas las condiciones expuestas anteriormente se realizó la adquisición en un tiempo de 60 segundos. Los resultados de la adquisición de datos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Datos experimentales en tiempo real.

Tiempo [s]	Temperatura de entrada agua caliente [°C]	Temperatura de salida agua caliente [°C]	Temperatura de entrada agua fría [°C]	Temperatura de salida agua fría [°C]	Caudal agua caliente [l/min]	Caudal agua fría [l/min]
0	37,2	35,8	21,3	18,1	0,0	0,04
5	56,2	51,8	15,3	22,1	5,6	3,96
10	56,5	51,0	15,3	20,8	4,3	3,56
15	56,5	51,0	15,2	20,3	3,5	3,82
20	56,6	50,5	15,3	19,9	3,3	3,89
25	56,6	50,5	15,3	19,8	3,0	3,86
30	56,9	50,7	15,3	19,7	3,0	3,69
35	57,3	51,6	15,3	19,8	3,0	3,82
40	57,6	51,3	15,3	19,8	3,0	3,66
45	57,8	51,3	15,4	19,8	3,1	3,74
50	57,9	51,4	15,4	19,9	3,0	3,75
55	58,0	51,6	15,4	19,8	3,1	3,60
60	58,1	51,5	15,4	19,9	3,1	3,60

6.2.7 Curvas de comportamiento

Con los datos obtenidos en el proceso experimental se procede a realizar curvas de comportamiento para tener una mejor perspectiva del proceso. La Figura 9 muestra las curvas de comportamiento para las temperaturas de ingreso y salida tanto de agua caliente como de agua fría.

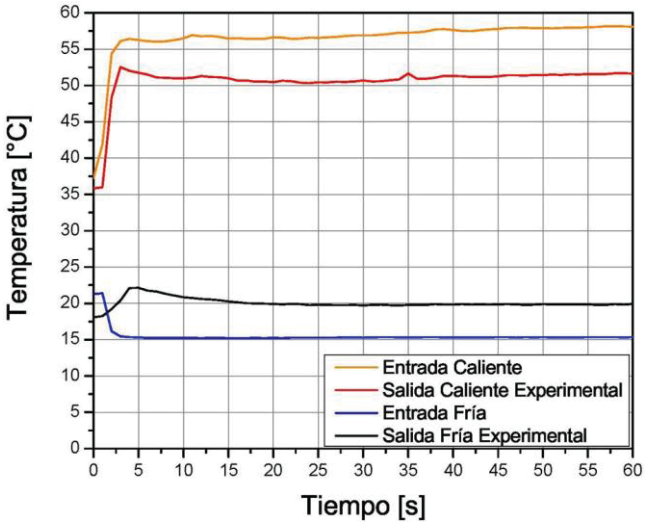


Figura 12. Valores de temperatura experimentales.

Se aprecia la diferencia de los valores en cada una de ellas y también en comparación con las otras. Se observa que el sistema se estabiliza cerca de los 20 segundos luego de comenzar la prueba. La temperatura de salida para el agua caliente, en comparación con la de entrada, es por obvias razones inferior, ya que el flujo de agua caliente transfiere energía de calor hacia el flujo de agua fría, dando como resultado una disminución en la temperatura de agua caliente en la salida. Se observa que la curva de comportamiento de temperatura de salida de agua caliente es similar a la temperatura de entrada, pero trasladada en el eje de las ordenadas. Para la temperatura de salida de agua fría, el comportamiento es inverso, es decir; la curva de comportamiento de la temperatura de salida de agua fría es una reflexión de la curva de temperatura de entrada. Este fenómeno se debe a que en el lapso inicial (de 0 a 10 segundos) se tiene un descenso en la

temperatura de entrada de agua fría, debido a que la temperatura de agua fría es menor a la temperatura de la carcasa del intercambiador. Dada la posición de las termocuplas, la masa inicial de agua fría otorgará una temperatura mayor debido a la absorción de calor de la carcasa. Por el contrario, la temperatura de salida de agua fría tiene un comportamiento ascendente en el mismo lapso de tiempo inicial. Esto se debe a que el proceso de intercambio de calor entre el fluido caliente y el fluido frío es un proceso lento. Es decir; es un proceso que no es instantáneo sino dependiente del tiempo. De igual manera, se tiene un pico de valor de temperatura alrededor de los 5 segundos. Esto se debe a la inercia térmica del fluido. Es decir a la oposición a cambiar de estado, en este caso a cambiar de un estado de absorción de calor, a uno de temperatura estable.

7. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL: VALIDACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y COMPUTACIONALES.

7.1 Introducción.

Las herramientas computacionales han sido utilizadas en una gran cantidad de investigaciones y desarrollos tecnológicos. Estas herramientas permiten realizar cálculo numérico complejos relacionados con cualquier campo de la Ingeniería, la Física y la Matemática. Dentro de la Ingeniería Mecánica se puede simular casi todo proceso estudiado, como la Termodinámica, Resistencia de Materiales, Mecánica de Fluidos, Dinámica, Transferencia de Calor, Procesos de Automatización, Mecanizado por CNC, etc. Las herramientas computacionales reducen el factor de error al ser realizadas por computadores, en contra posición de los cálculos numéricos realizados mediante el ser humano. De igual manera, las herramientas computacionales utilizan métodos numéricos más complejos con los cuales se obtienen mejores resultados.

7.2 Herramienta computacional.

La herramienta computacional a utilizar será SolidWorks 2014, en conjunto con el complemento Flow Simulation, el cual nos permite realizar simulaciones de mecánica de fluidos y transferencia de calor en una interfaz bastante amigable con el usuario.

Figura 13. Herramienta computacional.

7.2.1 Diseño tridimensional.

El primer proceso a realizar es el diseño tridimensional del intercambiador. En este diseño estarán consideradas todas las variables físicas a intervenir. Se diseñará el intercambiador hasta las acometidas de agua. Las mangueras no formarán parte del diseño, dado que su forma irregular no permiten considerarla. Esto se tendrá en cuenta al momento de analizar los resultados. La Figura 14 muestra el diseño tridimensional del intercambiador.

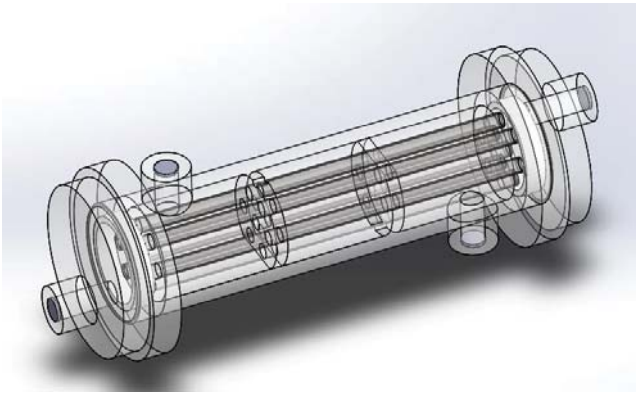


Figura 14. Diseño tridimensional

7.2.2 Complemento Flow Simulation.

El complemento Flow Simulation, nos permite realizar simulaciones referentes a mecánica de fluidos y transferencia de calor. La Figura 15 muestra la interfaz del complemento.

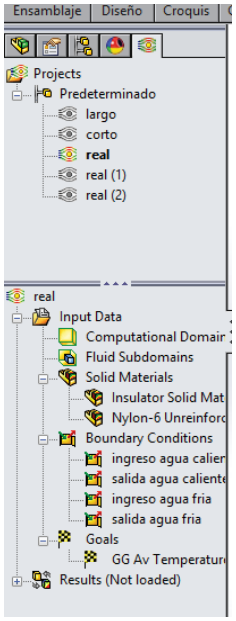


Figura 15. Complemento Flow Simulation.

7.2.3 Condiciones de Frontera.

Las condiciones de frontera a definir serán:

a. Materiales a utilizar

Esta cualidad puede ser definida durante el diseño tridimensional o previo a la simulación. La Figura 16 muestra la interfaz de selección de materiales con los cuales está hecho el intercambiador.

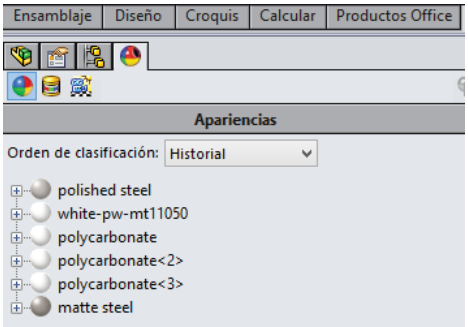


Figura 16. Selección de Materiales

b. Entradas y Salidas de Caudal

Las entradas y salidas de caudal tanto para agua fría como para agua caliente deben ser definidas en la interfaz, previo cualquier otra variable. La Figura 17 muestra la definición de las entradas y salidas de caudal. En cada punto de ingreso se definirá el caudal y la temperatura de entrada, estos valores serán ingresados a partir de los valores de la Tabla 5, que obtuvimos del proceso experimental.

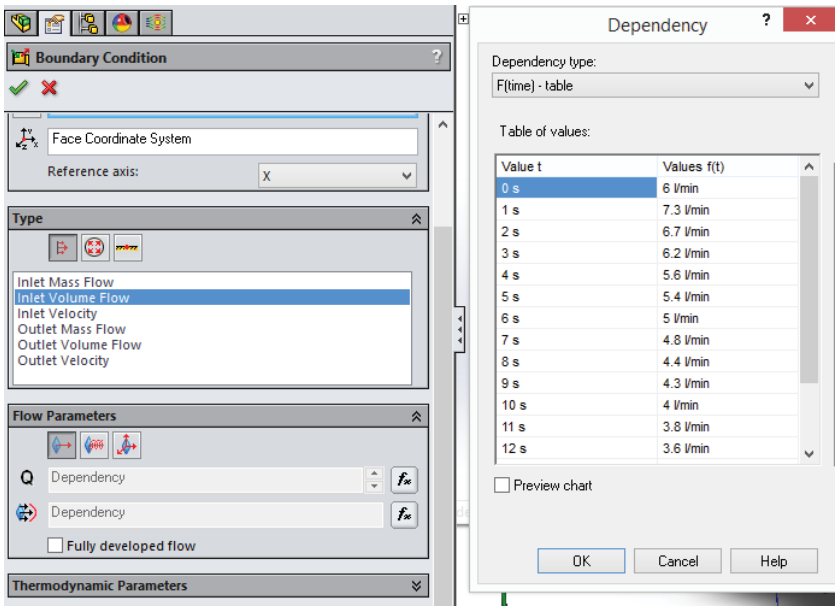


Figura 17. Ingreso de datos.

7.2.4 Mallado.

La selección del mallado se realizará en tres tipos, un mallado grueso, medio y fino. Estos valores se seleccionan al elegir el nivel de malla inicial a utilizar. La Figura 18 muestra la selección del mallado grueso, medio y fino.

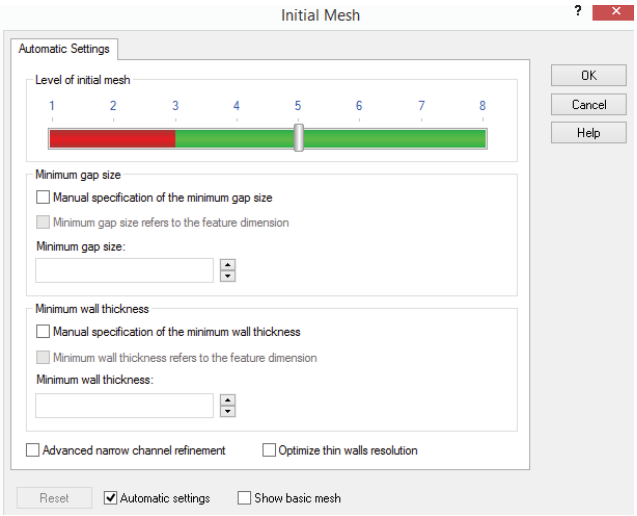


Figura 18. Selección de calidad de Mallado.

Las características de cada tipo de calidad de malla se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Características del tipo de mallado.

Parámetro	Malla Gruesa	Malla Mediana	Malla Fina
Número de celdas Fluido	2534	43294	152426
Número de celdas sólido	5606	49740	190492
Número de celdas parciales	10792	43298	225879
Tiempo estimado de simulación.	9 horas	47 horas	134 horas

7.2.5 Objetivos de Medición.

Los objetivos de medición serán las temperaturas de salida tanto para agua caliente como para agua fría. La interfaz en donde se pueden parametrizar los puntos de medición se muestra en la Figura 19.

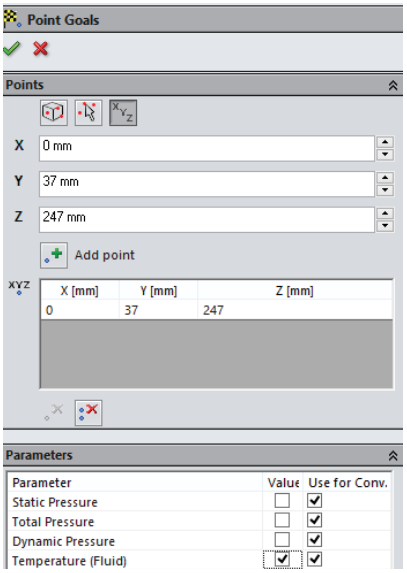


Figura 19. Selección de objetivos de medición.

7.3 Simulación.

Una vez parametrizado todos los puntos anteriores se procederán a realizar la simulación respectiva. Se realizarán tres procesos de simulación; uno con malla gruesa, media y fina. La Figura 20 muestra la interfaz de SolidWorks Solver realizando el proceso de simulación.

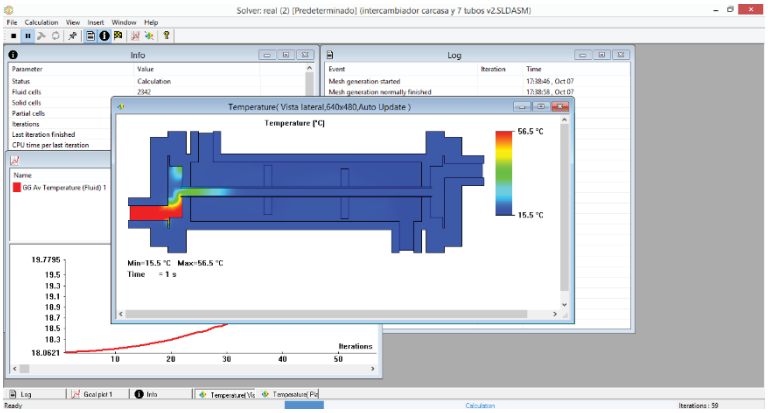


Figura 20. Interfaz de simulación.

7.3 Resultados.

Los resultados de la simulación deberán ser exportados a un formato Excel para un mejor procesamiento y análisis. La Figura 21 muestra la interfaz para exportar los resultados.

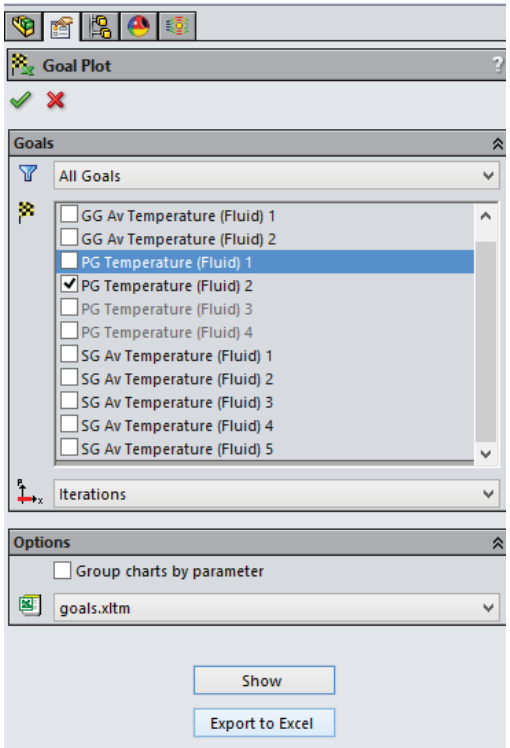


Figura 21. Exportación de Objetivos.

a. Datos computacionales.

Los datos de temperaturas computacionales se muestran en las tablas 7 y 8, donde los datos se han clasificado de acuerdo a los tipos de mallado utilizado en esta investigación.

Tabla 7. Temperaturas de salida agua caliente simuladas

Tiempo [s]	Malla Gruesa	Malla Media	Malla Fina
0	18,05	18,05	18,05
5	52,08	53,08	52,63
10	51,78	52,38	52,60
15	51,51	52,11	52,55
20	51,57	52,09	52,53
25	51,59	52,07	52,51
30	51,58	52,05	52,50
35	51,58	51,98	52,49
40	51,58	51,98	52,49
45	51,58	51,98	52,49
50	51,58	51,98	52,49
55	51,58	51,98	52,49
60	51,58	51,98	52,49

La Tabla 7, muestra los resultados de temperatura de salida de agua caliente para malla gruesa, media y fina. Como se puede observar, los valores de temperatura se estabilizan en un tiempo similar a los valores obtenidos mediante la parte experimental. Los valores obtenidos con los distintos tipos de mallado distan muy poco en similitud. Se aprecia que con una mejor calidad de mallado se obtienen valores más acordes a los obtenidos con el proceso experimental. Al igual que en el caso experimental, se aprecia un pico de temperatura de salida de agua caliente alrededor de los 2 segundos, debido a la inercia térmica que considera el software. La Tabla 8, muestra los resultados utilizando tres calidades de mallado para temperatura de salida de agua fría. Los valores son similares en los tres tipos de malla, sin embargo los valores de la malla media y fina se acercan más a los valores obtenidos de manera experimental. De igual manera, durante el comienzo del proceso, los valores obtenidos de la malla media y fina muestran un comportamiento similar al experimental, algo que no se aprecia en la malla gruesa.

Tabla 8. Temperaturas de salida agua fría simuladas

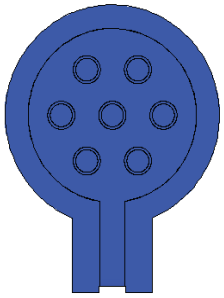
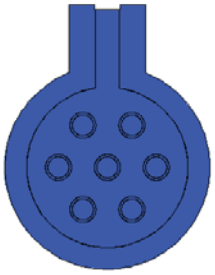
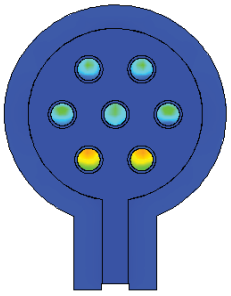
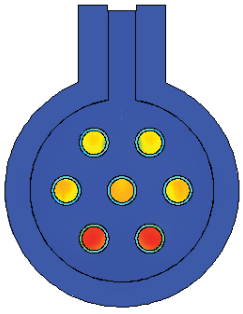
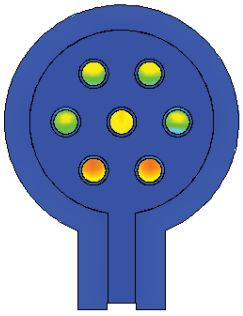
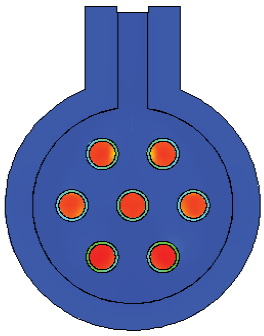
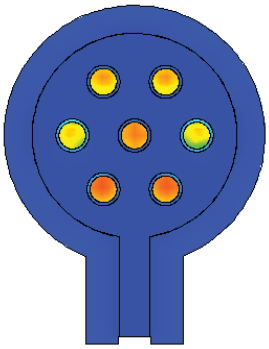
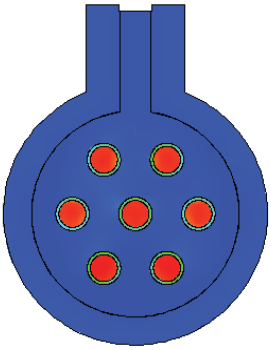
Tiempo [s]	Malla Gruesa	Malla Media	Malla Fina
0	18,05	18,05	18,05
5	19,39	19,68	19,86
10	19,29	19,53	19,78
15	19,18	19,51	19,75
20	19,18	19,49	19,74
25	19,18	19,47	19,73
30	19,18	19,47	19,71
35	19,18	19,47	19,71
40	19,18	19,47	19,71
45	19,18	19,47	19,71
50	19,18	19,47	19,71
55	19,18	19,47	19,71
60	19,18	19,47	19,71

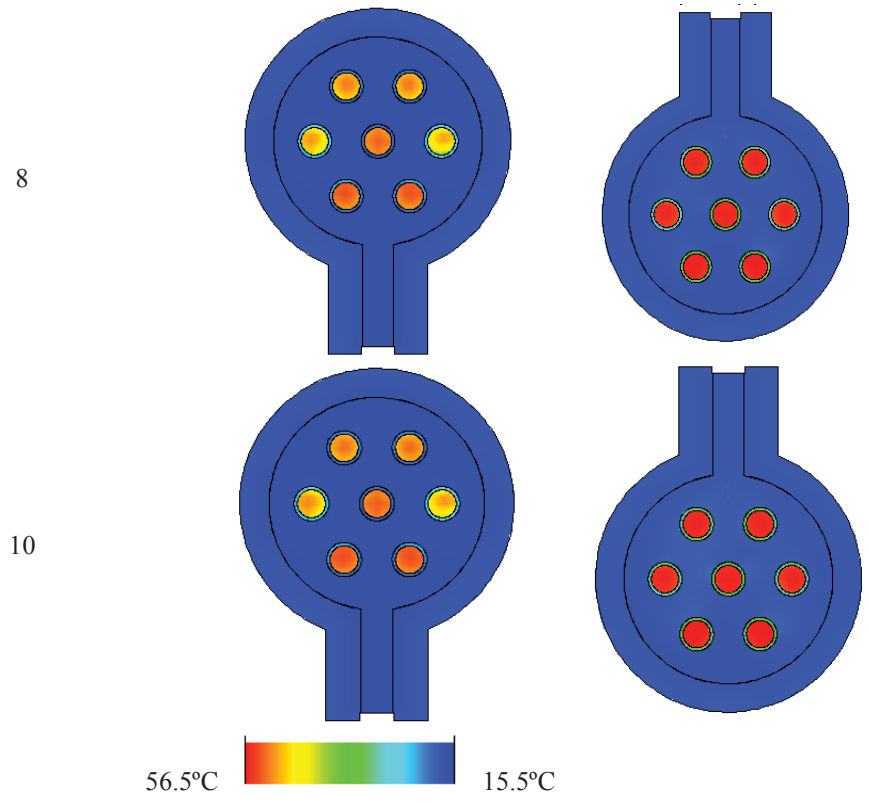
b. Termografía

La tabla 9 muestra los resultados obtenidos con el mejor proceso de simulación, es decir los resultados de la malla media. Los cortes transversales observados corresponden a los lugares de ingreso y salida de agua fría.

Para el primer corte, en el lugar del ingreso del aguar fría por la parte inferior, se observa que la temperatura de agua caliente no es la misma en todos los tubos del intercambiador. Esto debido a la posición del punto de entrada inicial del fluido, ya que al estar desplazado hacia abajo el fluido perderá calor mientras recorre mayor distancia hasta alcanzar los tubos superiores. Conforme avanza el tiempo se puede apreciar una diferencia de temperatura en cada uno de los tubos por separado, esto es una temperatura menor del fluido en la parte inferior de cada tubo, debido a la posición del punto de entrada de agua fría, ya que la primera superficie de contacto es la parte inferior de cada tubo.

Tabla 9. Temperaturas de salida simuladas.

T[s]	Ingreso de agua Fría	Salida de Agua Fría
0		
2		
4		
6		



Finalmente se puede apreciar en el último corte los puntos donde existe una mayor transferencia de calor, debido a los cambios de tono de color provocados en el fluido. Para el segundo corte, en la salida de agua fría, se aprecia el mismo fenómeno inicial. La posición de entrada de agua caliente provoca que el fluido no llegue con la misma temperatura de manera inicial.

Conforme avanza el tiempo se observa que las temperaturas se estabilizan adquiriendo cada vez un tono de color más homogéneo. De igual manera se comienzan a apreciar los puntos donde existe mayor transferencia de calor entre las paredes de los tubos y el fluido, hasta finalmente estabilizarse en un tono de color más homogéneo para el fluido.

La Tabla 10 muestra los resultados desde una vista lateral. En la misma se puede apreciar el proceso completo de transferencia de calor. Los cortes a los largo del eje longitudinal nos permiten tener una mejor comprensión acerca del proceso de transferencia de calor

entre agua caliente y agua fría.

Tabla 10. Corte Longitudinal.

T[s]	Vista Lateral.
0	
2	
4	
6	
8	
10	
	56.5 15.5

Se logra apreciar sobre todo, la variación de temperatura entre el punto de ingreso y el punto de salida para agua caliente y agua fría. Existe como es de esperarse una reducción

en la temperatura de agua caliente y un aumento en la temperatura de agua fría. De igual manera, podemos apreciar el efecto que tienen los deflectores, ya que permiten una mejor transferencia de calor entre los fluidos al concentrar el fluido un lugar determinado. Un amplio rango de pérdidas de calor se puede apreciar en los materiales acrílicos en el ingreso y salida del fluido.

Esto permite conocer la importancia que tiene el tipo de material difusor para los tubos. Los resultados corresponden a la mejor calidad de mallado, es decir utilizando una malla fina.

7.4 Análisis de resultados (Validación de Datos)

La comparación entre los resultados experimentales y computacionales permite validar la herramienta computacional para futuras investigaciones. La Figura 19 muestra las curvas de temperatura de agua caliente experimental y computacional, apreciándose que ambas curvas, tanto para la malla gruesa, media y fina tienen la misma tendencia de comportamiento que la experimental, y de igual manera los valores de equilibrio son similares.

Se observa que la curva de temperatura de salida experimental alcanza el valor pico en un tiempo aproximado para las mallas media y fina, no así para la malla gruesa.

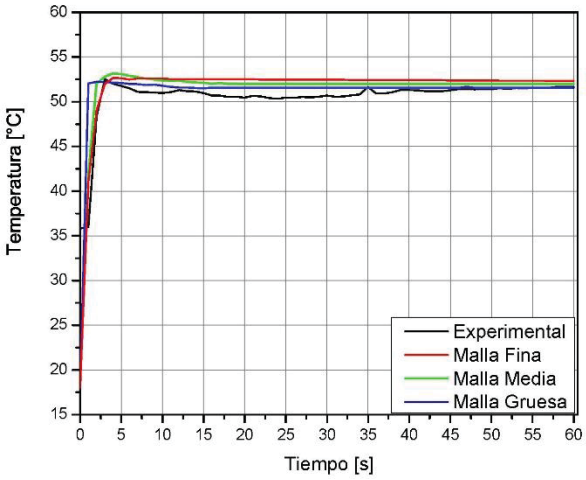


Figura 22. Curvas de comportamiento temperaturas de salida agua caliente..

Las variaciones que existen en el proceso experimental se deben a varios factores involucrados. La exactitud de los instrumentos de medición, perdidas de calor ocurridas en tuberías y accesorios, impurezas presentes en el fluido y la inercia misma del fluido que se opone a un cambio de estado. Al cabo de 50 segundos, los valores de equilibrio son similares. La comparación de resultados para las curvas de temperatura de salida de agua fría se muestra en la Figura 20.

De igual manera las curvas de malla gruesa, media y fina poseen la misma tendencia que la curva experimental, y los valores de equilibrio de temperatura son similares con una tolerancia de ± 0.5 ºC. El incremento de temperatura se da casi unos segundos después en la curva experimental. Esto se debe a varios factores que influyen en el proceso. Al igual que en las curvas de agua caliente, la exactitud de los instrumentos, pérdidas de calor, impurezas presentes, etc. influyen en el proceso. Sin embargo, se reitera que uno de los factores más importantes es la inercia térmica del fluido. Esta propiedad, se opone al cambio de estado. Es por ello que en la parte inicial existe un retraso en el ascenso de temperatura.

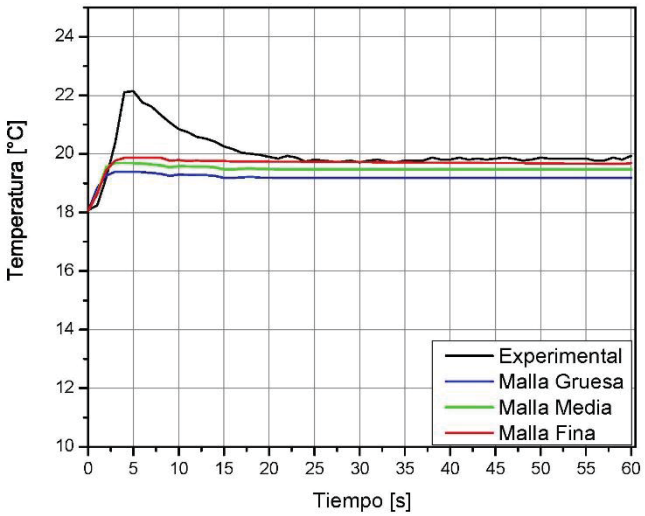


Figura 23. Curvas de comportamiento temperaturas de salida agua fría.

De igual manera, al sobrepasar la temperatura de equilibrio, el fluido se opone a cambiar su estado de incremento de temperatura a un estado de temperatura estable. Al igual que en el caso anterior, el efecto de un mejor mallado se aprecia sobre todo en el inicio del proceso. Un mallado de baja calidad no aporta un proceso similar al tener un comportamiento cóncavo hacia adentro mientras que el mallado medio, fino y el experimental lo tienen hacia afuera. La temperatura del mallado de calidad fina se acerca mucho más al comportamiento real que sus contrapartes media y gruesa. Durante el proceso inicial se observa que la curva experimental posee un pico cerca de los 5 segundos en contraposición de las partes simuladas. Esto debido a la característica de un proceso de transferencia de calor, en donde la temperatura requiere mucho tiempo para estabilizarse. Sin embargo, los resultados del mallado fino se asemejan mucho a los valores de equilibrio, dando credibilidad al proceso.

La naturaleza propia del proceso experimental otorga ambas curvas en la figura 19 y 20, una tendencia recta con pequeñas irregularidades, propias de un proceso real, sin embargo tantos los datos experimentales como los simulados tienen la misma tendencia y se estabilizan en tiempos similares.

7.5 Conclusiones

Las curvas de temperatura de salida tanto para agua caliente como para agua fría tienen la misma tendencia para los valores experimentales y computacionales, validando los resultados y la herramienta computacional. Los resultados revelan que es fiable utilizar una herramienta computacional para aproximar resultados en intercambiadores de calor de carcasa y tubos bajo las condiciones ambientales en la ciudad de Cuenca – Ecuador. La transferencia de calor apreciada en la termografía utilizada muestra que las zonas de mayor cambio están localizadas dentro y alrededor de los tubos.

Los valores obtenidos están acorde a las tolerancias registradas en previas investigaciones. Futuros cambios y mejoras en el diseño pueden ser realizados en la simulación, dada la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos, elevando la eficiencia del proceso de transferencia de calor y reduciendo en gran medida lo costos en los procesos de producción.

El uso de este tipo de herramientas computacionales en procesos de ingeniería, permite a la industria estar un paso adelante en la mejora de los procesos de producción. El Ingeniero Mecánico, debe tener conocimientos referentes al tema para elevar su competitividad en el mundo laboral.

La industria Ecuatoriana necesita de manera urgente implementar este tipo de herramientas para elevar su calidad de producción, aumentando la eficiencia en los procesos de fabricación y por ende reduciendo costos. Esta investigación ha cumplido con los objetivos planteados y ha sobrepasado nuestra expectativa en la similitud de resultados.

7.6 Recomendaciones y futuras investigaciones

Futuras investigaciones estarían enfocadas a elevar la eficiencia del proceso de transferencia de calor en el intercambiador de carcasa y tubos. De la misma manera el siguiente paso en la validación de datos experimentales sería utilizar un mallado específico para el procedimiento. Este podría consistir en un refinamiento de la malla en las zonas donde se supone se necesita un análisis mucho más exhaustivo. Esto es alrededor de los tubos cilíndricos

8. PRESUPUESTO

5.1 Talento Humano

Tabla 11. Presupuesto talento humano.

		Costo x hora	Horas Diarias	Total Horas	Total Meses	Costo Total
Desarrollador	Diego Lasso	$3	8	476	4	1428
					Total	2148

5.2 Recursos

Tabla 12. Presupuesto de recursos materiales.

	Costo mensual	Costo Total
Internet	$23	$86
Bibliografía	$30	$120
Transporte	$20	$80
Equipos	$50	$200
Varios	$30	$120
	Total	$606

9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 13. Cronograma de actividades.

Actividad	Número de Horas estimadas
Creación de una base de datos sobre el Estado del Arte del tema.	20 horas
Filtrado y depuración de la base de datos. Revisión Bibliográfica sobre el Estado del arte del tema.	85 horas
Revisión, Puesta a punto y reconocimiento de los equipos de Laboratorio a utilizar. (Incluidos requerimientos de uso, solicitud de acciones de mantenimiento, etc.)	10 horas
Lectura de manuales, procedimientos, condiciones y métodos de uso para los equipos de Laboratorio.	10 horas
Desarrollo de proceso experimental. Carga de datos, supervisión de proceso experimental. Medición y recolección de Datos.	40 horas
Revisión y selección de la herramienta computacional que más se ajusta a las necesidades del problema.	25 horas
Reconocimiento y Familiarización con el software a utilizar. (Incluida revisión de tutoriales, cursos sobre el software, etc.)	40 horas
Diseño computacional de los componentes a utilizar.	40 horas

Revisión, elección y diseño del método de simulación a utilizar. Definición del número de Iteraciones a seleccionar. Selección del tipo de mallado.	45 horas
Desarrollo de la simulación. (Incluido tiempo de simulación en base a número de iteraciones, repeticiones de la simulación, corrección de variables y solución de problemas)	120 horas
Filtrado y depuración de los Datos obtenidos.	30 horas
Manejo de Variables: Curvas de comportamiento, cálculo de errores porcentuales, etc.	10 horas
Comparación y análisis de los resultados	10 horas
Escritura del artículo científico. (Primer borrador)	50 horas
Revisión por parte del tutor. Determinación de cambios a realizar. Corrección del artículo científico. (Segundo borrador)	20 horas
Revisión Final en español por parte del tutor. Corrección de Artículo científico.	10 horas
Traducción del Artículo científico.	40 horas
Revisión final del Artículo antes de sometimiento. Corrección final del artículo.	10 horas
Búsqueda y selección del evento, revista, congreso o conferencia a enviar el artículo.	16 horas
Envío del artículo. (Incluido realización de abstracts previos al envió, abstracts extendidos, carta resumen, etc.)	10 horas
TOTAL	476 HORAS

Tabla 14. Cronograma Fechas.

Actividad	2015															
	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Creación de una base de datos sobre el Estado del Arte del tema.			X													
Filtrado y depuración de la base de datos. Revisión Bibliográfica sobre el Estado del arte del tema.			X	X												
Revisión, Puesta a punto y reconocimiento de los equipos de Laboratorio a utilizar. (Incluidos requerimientos de uso, solicitud de acciones de mantenimiento, etc.)					X											
Lectura de manuales, procedimientos, condiciones y métodos de uso para los equipos de Laboratorio.					X											
Desarrollo de proceso experimental. Carga de datos, supervisión de proceso experimental.Medición y recolección de Datos.					X	X										

Revisión y selección de la herramienta computacional que más se ajusta a las necesidades del problema.						X										
Reconocimiento y Familiarización con el software a utilizar. (Incluido revisión de tutoriales, cursos sobre el software, etc.)							X									
Diseño computacional de los componentes a utilizar.							X									
Revisión, elección y diseño del método de simulación a utilizar. Definición del número de Iteraciones a seleccionar. Selección del tipo de mallado.								X								
Desarrollo de la simulación. (Incluido tiempo de simulación en base a número de iteraciones, repeticiones de la simulación, corrección de variables y solución de problemas)								X	X	X						
Filtrado y depuración de los Datos obtenidos.											X					
Manejo de Variables: Curvas de comportamiento, cálculo de errores porcentuales, etc.											X					
Comparación y análisis de los resultados											X					

Escritura del artículo científico. (Primer borrador)												X				
Revisión por parte del tutor. Determinación de cambios a realizar. Corrección del artículo científico. (Segundo borrador)													X			
Revisión Final en español por parte del tutor. Corrección de Artículo científico.													X			
Traducción del Artículo científico.													X			
Revisión final del Artículo antes de sometimiento. Corrección final del artículo.														X		
Búsqueda y selección del evento, revista, congreso o conferencia a enviar el artículo.														X		
Envío del artículo. (Incluido realización de abstracts previos al envio, abstracts extendidos, carta resumen, etc.)														X		

BIBLIOGRAFIA

[1] W. D. Kelton y A. M. Law, *Simulation modeling and analysis*. McGraw Hill Boston, 2000.

[2] M. Prithiviraj y M. Andrews, "Three-dimensional numerical simulation of shell-and-tube heat exchangers. Part II: Heat transfer", *Numerical Heat Transfer, Part A Applications*, vol. 33, núm. 8, pp. 817–828, 1998.

[3] A. B. Rao y E. S. Rubin, "A technical, economic, and environmental assessment of amine-based CO2 capture technology for power plant greenhouse gas control", *Environmental science & technology*, vol. 36, núm. 20, pp. 4467–4475, 2002.

[4] R. Webb y E. Eckert, "Application of rough surfaces to heat exchanger design", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 15, núm. 9, pp. 1647–1658, 1972.

[5] B. P. Rao, P. K. Kumar, y S. K. Das, "Effect of flow distribution to the channels on the thermal performance of a plate heat exchanger", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 41, núm. 1, pp. 49–58, 2002.

[6] A. C. Caputo, P. M. Pelagagge, y P. Salini, "Heat exchanger design based on economic optimisation", *Applied Thermal Engineering*, vol. 28, núm. 10, pp. 1151–1159, 2008.

[7] H. Li y V. Kottke, "Effect of baffle spacing on pressure drop and local heat transfer in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 41, núm. 10, pp. 1303–1311, 1998.

[8] D. Prabhanjan, G. Raghavan, y T. Rennie, "Comparison of heat transfer rates between a straight tube heat exchanger and a helically coiled heat exchanger", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 29, núm. 2, pp. 185–191, 2002.

[9] P. Costamagna y K. Honegger, "Modeling of solid oxide heat exchanger integrated stacks and simulation at high fuel utilization", *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 145, núm. 11, pp. 3995–4007, 1998.

[10] J. Judge y R. Radermacher, "A heat exchanger model for mixtures and pure refrigerant cycle simulations", *International Journal of Refrigeration*, vol. 20, núm. 4, pp. 244 – 255, 1997.

[11] Y. You, Y. Chen, M. Xie, X. Luo, L. Jiao, y S. Huang, "Numerical simulation and performance improvement for a small size shell-and-tube heat exchanger with trefoil-hole baffles", *Applied Thermal Engineering*, vol. 89, pp. 220 – 228, 2015.

[12] R. Curtain, "Structural theory of distributed systems", *Acta Applicandae Mathematica*, vol. 2, núm. 2, pp. 209–210, 1984.

[13] M. Prithiviraj y M. J. Andrews, "THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL SIMULATION OF SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS. PART II: HEAT TRANSFER", *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, vol. 33, núm. 8, pp. 817–828, 1998.

[14] M. Hatami, M. D. Boot, D. D. Ganji, y M. G. Bandpy, "Comparative study of different exhaust heat exchangers effect on the performance and exergy analysis of a diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, vol. 90, pp. 23 – 37, 2015.

[15] D. J. Correa y J. L. Marchetti, "Dynamic Simulation of Shell-and-Tube Heat Exchangers", *Heat Transfer Engineering*, vol. 8, núm. 1, pp. 50–59, 1987.

[16] G. F. Nellis, "A heat exchanger model that includes axial conduction, parasitic heat loads, and property variations", *Cryogenics*, vol. 43, núm. 9, pp. 523 – 538, 2003.

[17] A. G. Kanaris, A. A. Mouza, y S. V. Paras, "Flow and Heat Transfer Prediction in a Corrugated Plate Heat Exchanger using a CFD Code", *Chemical Engineering & Technology*, vol. 29, núm. 8, pp. 923–930, 2006.

[18] A. Trp, "An experimental and numerical investigation of heat transfer during technical grade paraffin melting and solidification in a shell-and-tube latent thermal energy storage unit", *Solar Energy*, vol. 79, núm. 6, pp. 648 – 660, 2005.

ANEXOS

Respaldo de envío a revisión por pares ciegos del editor de la Revista.

[ings] VALIDATION OF TEMPERATURE RESULTS OF COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL DATA FROM A SHELL AND TUBE EXCHANGER.

JC John Calle Sigüencia<revistaingenius@ups.edu.ec>

Responder a todos

Para: DIEGO RAFAEL LASSO LAZO; Paul Bolivar Torres Jara; Juan Carlos Galarza Galarza<jc ... mié 18/11/2015 15:28

El siguiente mensaje se está enviando a nombre de la Revista Ingenius.

Estimados Colaboradores
El manuscrito VALIDATION OF TEMPERATURE RESULTS OF COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL DATA FROM A SHELL AND TUBE EXCHANGER. se encuentra actualmente en proceso de revisión por pares ciegos. Una vez que se tenga los resultados sera notificado de la decisión generada en el arbitraje.

Atentamente
Ing. John Calle, MSc.
EDITOR RESPONSABLE DE LA REVISTA INGENIUS
UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

Revista Ingenius revistaingenius@ups.edu.ec
http://ingenius.ups.edu.ec

Respaldo: Estado Actual del artículo en el Sistema virtual de la Revista Ingenious.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
INGENIUS
Revista de Ciencia y Tecnología

INICIO ACERCA DE ÁREA PERSONAL BUSCAR ACTUAL ARCHIVOS AVISOS

Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos activos

ENVÍOS ACTIVOS

ACTIVO/A ARCHIVAR

ID.	DD-MM ENVIAR	SECC	AUTORES/AS	TÍTULO	ESTADO
256	11-09	AC	Lasso Lazo, Torres Jara, Galarza Galarza	VALIDATION OF TEMPERATURE RESULTS OF COMPUTATIONAL AND...	EN REVISIÓN

Elementos 1 - 1 de 1

EMPEZAR UN NUEVO ENVÍO

HAGA CLIC AQUÍ para ir al primer paso del proceso de envío en cinco pasos.

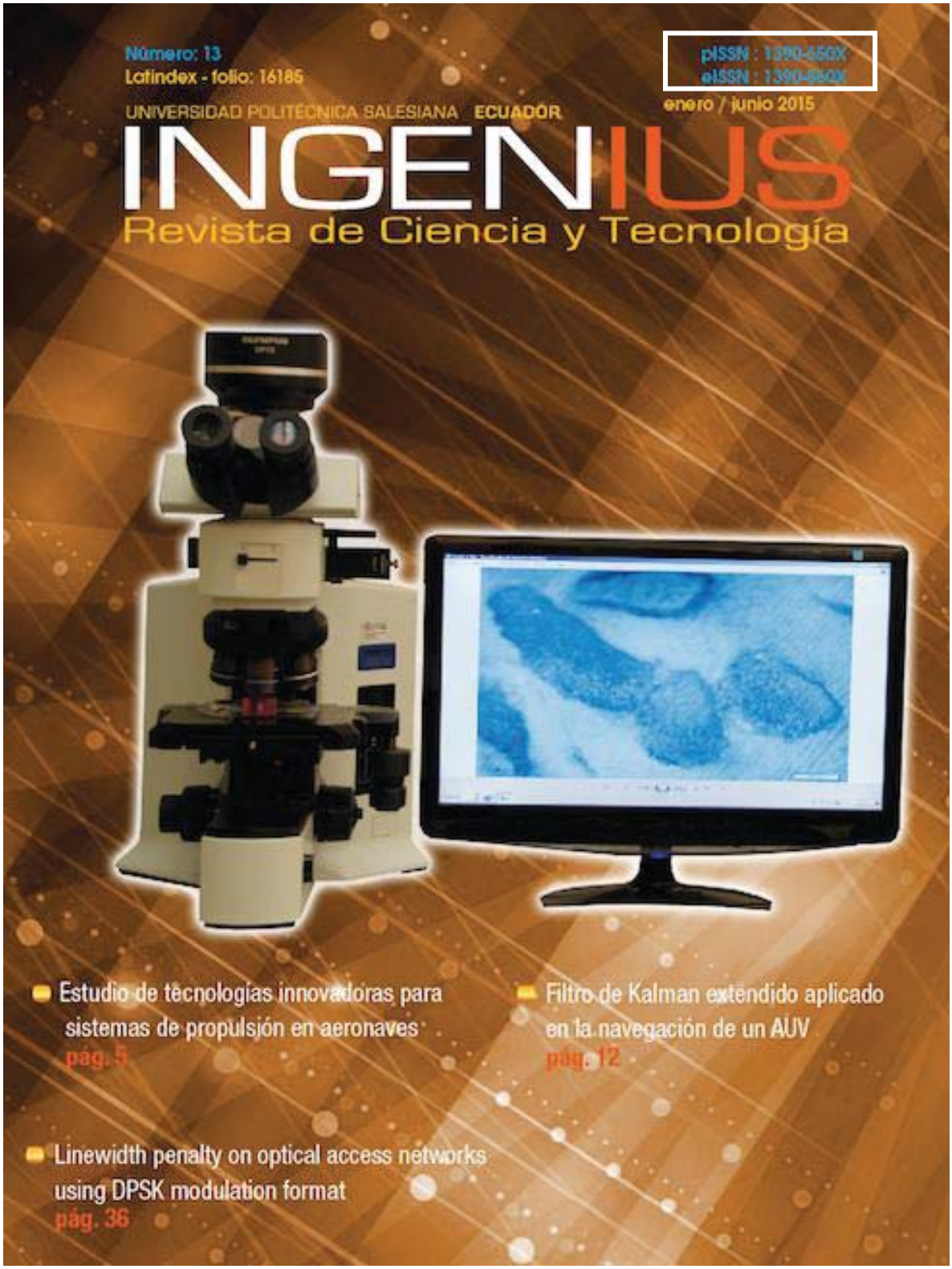
ENLACES REFBACK

TODOS NUEVO PUBLICADO OMITIDOS

FECHA DE CREACIÓN	VISITAS	URL	ARTÍCULO	TÍTULO	ESTADO	ACCIÓN
No hay ningún enlace refback.						

Publicar Omitir Eliminar Seleccionar todo

Respaldo de Indexación de la Revista.



Código de indexación Latindex: pISSN: 1390-650X eISSN: 1390-860X

Respaldo desde sitio web: http://www.latindex.unam.mx