



**SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN BANCO DIDÁCTICO  
DE LAS UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, REGIONAL  
BARRANCABERMEJA**

**AUTORES**

**Andrés Felipe Toloza Oviedo**

**Natalia García Mattos**

**Omar Darío Sánchez Bustos**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías**  
**Tecnología en operación y mantenimiento electromecánico**  
**Barrancabermeja**  
**2018**



**SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN BANCO DIDÁCTICO  
DE LAS UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, REGIONAL  
BARRANCABERMEJA**

**AUTORES**

Andrés Felipe Toloza Oviedo  
Natalia García Mattos  
Omar Darío Sánchez Bustos

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico**

**DIRECTOR**

M.Sc.Ing Qca. Leidys Marleyn Rodríguez Castro

**Grupo de investigación DIANOIA**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías  
Tecnología en operación y mantenimiento electromecánico  
Barrancabermeja  
2018**

---



Firma del jurado

---

Firma del Jurado

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b><u>RESUMEN.....</u></b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b><u>INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b>10</b>
<b>1.</b>	<b><u>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</u></b>	<b>12</b>
<b>1.1.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.</b>	<b>JUSTIFICACION .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>1.4.</b>	<b>ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....</b>	<b>15</b>
1.4.1.	A NIVEL NACIONAL SE ENCUENTRA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO: ANÁLISIS COMPUTACIONAL DEL FLUJO Y LA TRASFERENCIA DE CALOR EN UN SILENCIADOR PARA EL SISTEMA DE ESCAPE DEL MOTOR DE UN TRACTOR (HERNÁNDEZ MEDINA, 2014). 15	
1.4.2.	A NIVEL NACIONAL SE ENCUENTRA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO: ESTUDIO COMPUTACIONAL DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UNA PAILA PANELERA TIPO SEMIESFÉRICA (MORENO & ANDRES, 2016).....	16
1.4.3.	A NIVEL NACIONAL SE ENCUENTRA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO: INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD POR RECUPERACIÓN DE CALOR EN GASES DE CHIMENEA DE UN HORNO DE CUBILOTE (MEJÍA ARANGO, SILVA, & ARISTIZÁBAL SIERRA, 2003). 17	
1.4.4.	A NIVEL NACIONAL SE ENCUENTRA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO: CALENTAMIENTO DE FLUIDOS CON TUBOS INMERSOS: UNA ALTERNATIVA EFICIENTE PARA USO A NIVEL INDUSTRIA (HERNÁNDEZ VÉLEZ, CORTÉS TORRES, & AMELL ARRIETA, 2000) 18	
1.4.5.	A NIVEL NACIONAL SE ENCUENTRA EL ARTÍCULO CIENTÍFICO TITULADO: SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN (BULA ET AL., 2011). .....	18
1.4.6.	A NIVEL NACIONAL SE ENCUENTRA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO: ESTUDIO DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR CONVECTIVO EN NANOFLUIDOS(QUINTANA & ARMANDO, 2009).....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
1.4.7.	A NIVEL INTERNACIONAL SE ENCUENTRA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO: SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO TRANSVERSAL ALETEADO (ZAJAROV & JAVIER, 2014). .....	19

R-DC-95

1.4.8.	A NIVEL INTERNACIONAL SE ENCUENTRA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO: MODELAMIENTO EXPERIMENTAL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS DE LANGERER(MASCO & FERNANDO, 2011).....	20
<b>2.</b>	<b><u>MARCOS REFERENCIALES .....</u></b>	<b><u>20</u></b>
2.1.	MARCO TEORICO .....	20
2.2.	MARCO HISTÓRICO .....	22
2.3.	MARCO LEGAL .....	23
2.4.	MARCO CONCEPTUAL .....	25
<b>3.</b>	<b><u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....</u></b>	<b><u>28</u></b>
<b>4.</b>	<b><u>RESULTADOS.....</u></b>	<b><u>37</u></b>
<b>5.</b>	<b><u>CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>38</u></b>
-	.....	38
<b>6.</b>	<b><u>RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>39</u></b>
<b>7.</b>	<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA .....</u></b>	<b><u>40</u></b>
<b>8.</b>	<b><u>ANEXOS .....</u></b>	<b><u>43</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Intercambiador de carcasa y tubo	19
Figura 2. Especificaciones electrobombas	28
Figura 3. Elección componente y paquete de fluidos	29
Figura 4. Componentes y asignación de corrientes	30
Figura 5. Definición corriente agua caliente	31
Figura 6. Composición agua caliente	32
Figura 7. Conexiones intercambiador de calor	33
Figura 8. Parámetros del intercambiador de calor	33
Figura 9. Tabla de trabajo del intercambiador de calor	34
Figura 10. Conexiones tanque 2	35
Figura 11. Parámetros del tanque 2	36
Figura 12. Geometría del tanque 2	36
Figura 13. Tabla de trabajo tanque 2	37
Figura 14. Definición corriente agua fría	38
Figura 15. Composición corriente agua fría	39

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables intercambiador de coraza y tubos

26

## 1. RESUMEN

Este proyecto está encaminado a mostrar la forma operacional de las herramientas de simulación que ayudan a mejorar los procesos de transferencia de calor por medio del software de procesos HYSYS, siendo esta una herramienta muy útil la cual simula procesos facilitando su realización en el ámbito real y así ayudando a evitar posibles errores a la hora de implementar dichos procesos.

En este caso se realiza una simulación del proceso de transferencia de calor que ocurre en el banco de pruebas ubicado en el área de refrigeración de las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja, se descubren los cambios que ocurren en las diferentes variables presentes durante el proceso de intercambio de calor, lo cual ayuda a entender cómo un líquido puede llegar a disminuir o aumentar su temperatura al estar dentro de un intercambiador de calor y a su vez muestra cómo se pueden mitigar las fallas que puedan presentarse durante la puesta en marcha del banco de transferencia de calor.

En la realización de este proyecto se buscó conocer el funcionamiento del software debido a que era una herramienta de trabajo sobre la cual no se tenían muchos conocimientos adquiridos, una vez que se entiende cómo funciona, se da inicio al proceso de simulación en HYSYS con el cual se buscó hallar todas las variables del sistema y así poder realizar el análisis del proceso de intercambio de calor que ocurre en el banco de transferencia de calor antes mencionado.

**PALABRAS CLAVES.** Transferencia de calor, intercambiador de calor, procesos, simulación, HYSYS, variables.



## 2. INTRODUCCIÓN

Las herramientas de simulación hoy en día son necesarias en el sector industrial ya que son usadas con el propósito de mejorar la calidad de los procesos que allí se realizan, haciéndolos así más eficientes. De este modo se encuentra que se pueden realizar simulaciones de diferentes áreas de trabajo, presentes no solo en la industria sino también en diferentes instituciones de educación superior antes de ser puestas en práctica, lo cual permite que los procesos que se vayan a modelar sean analizados con gran detalle antes de su futura realización ya sea en la industria o en áreas pedagógicas y así evitar las posibles fallas que puedan presentarse durante su implementación.

En la actualidad se han creado infinidad de software de simulación con diversas herramientas como son los cálculos matemáticos. También se hallan cierta cantidad de simuladores con bases de datos que contienen propiedades físicas de miles de compuestos y sustancias químicas, de la misma manera se encuentran otros que implementan modelos termodinámicos, cálculos de equipos, análisis de costos, procesos de manufactura y condiciones de operación.

Hay programas enfocados a la ingeniería de procesos como lo es ASPEN HYSYS el cual es un software que es usado en la solución de problemas relacionados con procesos petroquímicos, químicos, termodinámicos y otras áreas de ingeniería. Este programa cuenta con una interfaz fácil de interpretar, lo cual permite la utilización de operadores lógicos y herramientas que facilitan la simulación de los dichos procesos y complementa la labor que deben realizar los manipuladores de este software al momento de analizar los cambios y variables que se puedan

R-DC-95

presentar durante la elaboración o puesta en práctica del diseño realizado en el simulador.

Por medio de este software se realiza la simulación del banco de transferencia de calor que se encuentra en las Unidades Tecnológicas de Santander (Barrancabermeja) ubicado en el colegio Diego Hernández de Gallego y ayuda a realizar un análisis detallado de todos los cambios que ocurren durante el proceso de intercambio de calor de la sustancia que se está usando en este caso agua líquida. En HYSYS se hallan herramientas que nos facilitan su manipulación debido a que es una interfaz de trabajo fácil de interpretar y de gran ayuda al momento de complementar la información que se necesita para el análisis de los procesos.

## **1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La transferencia de calor es un proceso mediante el cual dos cuerpos líquidos que se encuentran a diferentes temperaturas intercambian energía en forma de calor, este proceso se puede realizar por medio de equipos llamados intercambiadores de calor, estos se pueden encontrar de forma tangible e intangible como los que se hallan en los software de simulación.

Según (Holman, 2003), las computadoras se utilizan ahora por todos los estudiantes e ingenieros prácticos para la solución de problemas de transferencia de calor. El rápido desarrollo de los dispositivos de estado sólido para memorias desafía la imaginación y podemos predecir la disponibilidad en el escritorio del poder de computación a gran escala en el futuro inmediato.

En Colombia ante la necesidad que se presenta hoy en día en algunas instituciones de educación superior y en la industria de tener a la mano dispositivos pedagógicos de los diferentes procesos industriales para capacitar el personal e implementar nuevas estrategias de control, se presentan diversos diseños de bancos de pruebas con intercambiadores de calor como proyectos de grado que permiten ampliar los conocimientos teóricos y poder analizar los cambios que se presentan en un proceso de transferencia de calor .

En las Unidades Tecnológicas de Santander sede Bucaramanga se dio la idea de realizar una herramienta pedagógica para el estudio real de los fenómenos de la transferencia de calor, dando así como resultado el diseño y construcción de dicho

R-DC-95

artefacto, abriendo sustancialmente el espacio para poner en práctica todos los conocimientos previos respecto a la materia, con este banco se pretendía complementar las clases de transferencia de calor, pero aun cuando estuvo listo para su implementación seguían faltando detalles con respecto al conocimiento de los valores de las diferentes variables que se veían implícitas en el banco como lo son la temperatura, presión, caudal y entre otras que son importantes para analizar lo que ocurre durante la transferencia de calor que se realiza en el equipo.

Este banco es trasladado a las instalaciones de las Unidades Tecnológicas de Santander (Barrancabermeja) ubicada en el colegio Diego Hernández de Gallegos para que fuese de gran ayuda en el proceso pedagógico, pero debido a los vacíos en cuanto al análisis de las variables se decide buscar la ayuda del software de simulación llamado HYSYS que ayude a encontrar los valores faltantes en el proceso y permita entender como es el comportamiento real de todos los equipos presentes en el banco de transferencia de calor para que así esta herramienta pedagógica pudiera ser utilizada de manera correcta y cumpliera el fin para el cual había sido diseñada ¿Cómo podemos implementar una simulación en un banco de transferencia de calor por medio del programa HYSYS?

## 1.2. JUSTIFICACION

En la actualidad en la industria pueden encontrar que se presentan muchas fallas dentro de los procesos de labores que están enfocadas a la medición de variables como lo son la temperatura, presión, volumen y entre otras más que son de gran importancia en los diferentes procesos que se llevan a cabo todos los días en las diferentes industrias; debido a esta serie de fallas aparecen las llamadas herramientas de simulación que han sido diseñadas para ayudar a mitigar el riesgo de errores que se puedan encontrar en las labores que se llevan a cabo. Dentro esta investigación se va a trabajar una simulación sobre un banco de transferencia de calor que está ubicado en el laboratorio de refrigeración de las unidades tecnológicas de Santander (Barrancabermeja) dentro del colegio Diego Hernández de Gallegos.

Para desarrollar el proceso se va a utilizar la herramienta HYSYS, tomando como base los datos de diseño del banco hallados en el proyecto realizado por los estudiantes de las Unidades Tecnológicas de Santander (Bucaramanga).

Con este proyecto se busca mejorar los procesos pedagógicos de la asignatura de transferencia de calor y así cumplir con el objetivo por el cual se diseñó inicialmente el banco de transferencia de calor y así, magnificar los conocimientos de todos los estudiantes en cuanto a las variables que se encuentran implícitas en el proceso que se lleva a cabo en el banco por medio del intercambiador de calor.

Con este proyecto podremos aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera y optar por nuestro título como Tecnólogos en operación y mantenimiento electromecánico.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Simular por medio del software HYSYS el proceso basado en la transferencia de calor del banco situado en el laboratorio de refrigeración de las unidades tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar los datos implícitos en relación con las variables que intervienen en el proceso caracterizando los diversos sistemas que conforman el banco de pruebas
- Utilizar el software HYSYS para generar los diversos algoritmos del sistema
- Analizar el comportamiento de las variables encontradas del proceso de transferencia de calor.

### **1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES**

1.4.1. A nivel nacional se encuentra el proyecto de investigación titulado: Análisis computacional del flujo y la transferencia de calor en un silenciador para el sistema de escape del motor de un tractor (Hernández Medina, 2014).

En la universidad de los andes con el siguiente tema: el objetivo de este proyecto es realizar un análisis exhaustivo de un silenciador diseñado para el sistema de escape de un tractor, lo que se quiere analizar es el

R-DC-95

desempeño del silenciador a diferentes configuraciones geométricas, y también cual es el comportamiento de la transferencia de calor y el comportamiento a la variación de temperatura utilizando herramientas computacionales, como lo son el CFD, para así por medio de simulaciones poder entender de manera teórica y realizando una aproximación de la realidad lo que puede ofrecer este software para predecir el comportamiento de un silenciador a diferentes condiciones de operación.

1.4.2. A nivel nacional se encuentra el proyecto de investigación titulado: Estudio computacional de la transferencia de calor en una paila panelera tipo semiesférica (Moreno & Andres, 2016).

En la universidad de los andes con el siguiente tema: El presente documento explica detalladamente el trabajo realizado sobre el estudio de la transferencia de calor en las cuatro pailas semiesféricas que conforman una hornilla panelera típica con cámara de combustión tipo WARD CIMPA. En específico, se pretendía analizar la contribución del calor por convección y radiación sobre cada una de las pailas que conforma la sección de secado de los jugos de la panela de la hornilla. De esta forma, primero que todo se estudió la transferencia de calor por convección para el cual se obtuvo una relación del número de Nusselt para cada paila analizada (4 en total). De esta forma, se conoce el comportamiento en cuanto a transferencia de calor de cada paila en función del número de Reynolds y Prandtl. Por otra parte, se estudió la transferencia de calor por radiación producto de las altas temperaturas que alcanzan los gases a la entrada del ducto de la hornilla panelera. Por último, se obtuvieron contornos de diversas variables de interés para este trabajo como temperatura, velocidad, flujo de calor, entre otros, a partir de los cuales se analizó tanto la dinámica de flujo de los gases al interior del ducto, como también la temperatura y flujo de calor de los mismos y su interacción con las paredes de la hornilla panelera. Por último, se determinó la importancia

R-DC-95

relativa que tienen los procesos de transferencia de calor por convección y radiación sobre el calor total transferido a los jugos de la panela. Paralelo a esto, se encontró la forma como se distribuye el calor transferido a lo largo de cada una de las pailas.

1.4.3. A nivel nacional se encuentra el proyecto de investigación titulado: Incremento de la productividad por recuperación de calor en gases de chimenea de un horno de cubilote (Mejía Arango, Silva, & Aristizábal Sierra, 2003).

En la universidad de Antioquia con el siguiente tema: Sobre la base de la primera ley de la termodinámica se realiza el balance de calor para dos cubilotes típicos y para el cubilote de la Universidad de Antioquia, en este último, antes y después de ser instalado y puesto a punto el sistema de recuperación de calor, que opera con dos regeneradores de lecho empacado. Con los resultados obtenidos en el prototipo eco-eficiente se demuestran las ventajas de trabajar un cubilote con sistemas que recuperen calor de los gases de chimenea, resaltando en este caso, el incremento en la productividad (52,4%) y en la temperatura del metal de salida (7,3%), además del cumplimiento de las normas ambientales vigentes en Colombia. Se destaca la necesidad de recuperar el calor de los gases de salida en todos los equipos donde se usan sistemas de combustión.

R-DC-95

1.4.4. A nivel nacional se encuentra el proyecto de investigación titulado: Calentamiento de fluidos con tubos inmersos: una alternativa eficiente para uso a nivel industria (Hernández Vélez, Cortés Torres, & Amell Arrieta, 2000)

En la universidad de Antioquia con el siguiente tema: Debido a la introducción del gas natural como combustible a nivel comercial e industrial, es conveniente la asimilación de nuevas tecnologías que permitan su uso eficiente, económico y seguro. Se presenta el sistema de tubos inmersos para calentamiento de fluidos con potenciales aplicaciones industriales y comerciales. El sistema consiste en un tubo metálico por dentro del cual circulan gases calientes producto de la combustión. La combustión es sostenida por un quemador atmosférico de pre mezcla que funciona a medianas y altas presiones de suministro de gas. Con este sistema se pueden alcanzar eficiencias del 68% en procesos que requieran la elevación de temperatura de fluidos (alcanzándose temperaturas hasta 100°C en fluidos acuosos y de hasta 300°C en aceites). A continuación se presentan los parámetros fundamentales que intervienen en el diseño y montaje de este sistema de calentamiento.

1.4.5. A nivel nacional se encuentra el artículo científico titulado: Simulación del comportamiento termodinámico de un sistema de refrigeración solar por absorción (Bula et al., 2011).

En la universidad del norte con el siguiente tema: Un proceso de simulación termodinámica ha sido llevado a cabo con el fin de determinar el efecto que la temperatura de desorción y la eficiencia del intercambiador de calor tienen sobre el coeficiente de desempeño (COP) y el flujo másico de un sistema de refrigeración simple por absorción usando energía solar como fuente primaria. Se observó que para dicho sistema la eficiencia del intercambiador determina la

R-DC-95

temperatura máxima a la cual debe operar el sistema, y que un valor mayor que éste obliga a la disminución del COP del equipo.

1.4.6. A nivel nacional se encuentra el proyecto de investigación titulado: estudio del proceso de transferencia de calor convectivo en nanofluidos (Quintana & Armando, 2009).

En la universidad del norte con el siguiente tema: Se plantea entonces, como el objetivo principal de esta investigación evaluar de manera experimental cómo la variación de la conductividad térmica debido al uso de nanopartículas en un fluido afecta el proceso de transferencia de calor por convección forzada en un intercambiador de tubos concéntricos. Para lograr el objetivo propuesto se plantea un modelo experimental para número de Nusselt y con base en un diseño factorial se espera establecer los factores significativos dentro del proceso de transferencia de calor.

1.4.6. A nivel internacional se encuentra el proyecto de investigación titulado: Simulación numérica del comportamiento de un intercambiador de calor de flujo transversal aleteado (Zajarov & Javier, 2014).

En la pontificia universidad católica del Perú con el siguiente tema: En la presente tesis se realiza la simulación numérica del comportamiento de un intercambiador de calor de flujo cruzado o transversal aleteado. En primer lugar se procedió a describir este tipo de intercambiador de calor, así como algunos ámbitos de su aplicación. Luego, se presentan las correlaciones analíticas a utilizarse para el cálculo de la capacidad de transferencia de calor de este tipo de intercambiadores de calor. Después, se procedió a establecer el modelo computacional del intercambiador previamente mencionado, tomando en cuenta sus características físicas así como sus condiciones de funcionamiento. Posteriormente, se procedió

R-DC-95

a hacer la simulación del modelo computacional planteado, obteniéndose tanto la variación de las propiedades del flujo de aire a lo largo del intercambiador de calor como la distribución de temperaturas en las aletas y tubos que lo componen. Los resultados de la capacidad del intercambiador de calor obtenidos a través de la simulación arrojaron una variación alrededor del 11% respecto a los datos brindados por el fabricante y de 4.5% respecto a la capacidad calculada analíticamente. Además, se obtuvieron las tasas de transferencia de calor que presenta el intercambiador en diferentes zonas, lo cual nos sirve como un punto de partida para una futura optimización del equipo.

1.4.7. A nivel internacional se encuentra el proyecto de investigación titulado: Modelamiento experimental del intercambiador de calor de carcasa y tubos de Langerer (Masco & Fernando, 2011).

En la pontificia universidad católica del Perú con el siguiente tema: En este trabajo se presenta el modelamiento del intercambiador de calor de tubos y carcasa de Langerer u. Reich (Stück 2 Dat 372) del laboratorio de energía de la Sección de Ingeniería Mecánica. El intercambiador de calor recibe agua caliente en su coraza, proveniente de un motor de combustión, y agua fría en los tubos internos.

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. MARCO TEORICO

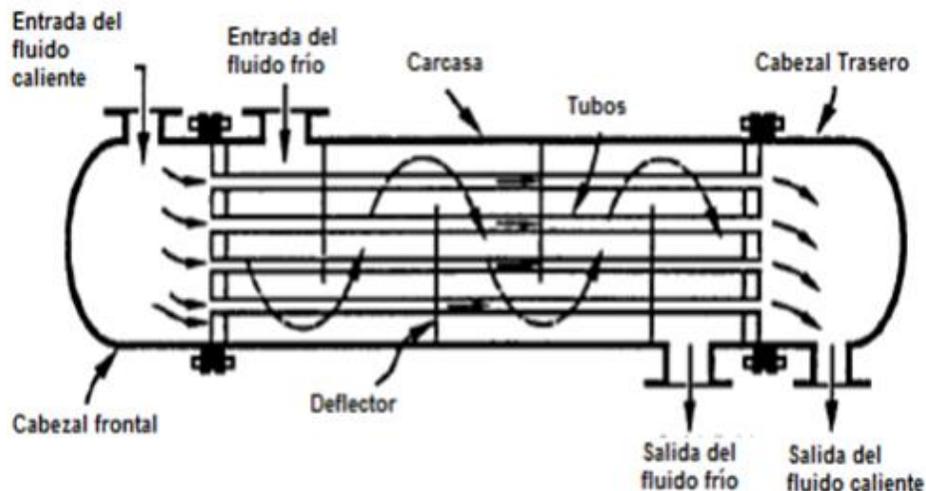
**Intercambiadores de calor:** Un intercambiador de calor es un dispositivo que se utiliza para transferir energía térmica (entalpía) entre dos o más fluidos a diferentes temperaturas y en contacto térmico. Las aplicaciones típicas de

R-DC-95

intercambio de calor incluyen el calentamiento o enfriamiento de un fluido o corriente de interés y la evaporación o condensación de una corriente de fluidos multi componentes o de un componente. En la mayoría de los intercambiadores de calor, la transferencia de calor entre los fluidos ocurre a través de paredes separadas e idealmente los mismos no se mezclan ni se fugan. (Ramesh y Dusan, 2003).

**Intercambiador de calor de carcasa y tubo** Este intercambiador está formado por un conjunto de tubos redondos montados en una carcasa cilíndrica con el eje de los tubos paralelo al de la carcasa. Uno de los fluidos circula por dentro de los tubos y el otro a lo largo de la carcasa.

Figura.1. Intercambiador de carcasa y tubo



Fuente:( Ramesh y Dusan, 2003)

En el intercambiador de carcasa y tubos, los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca del otro, ya que una franja demasiado estrecha de metal

R-DC-95

entre los tubos adyacentes, debilita estructuralmente el cabezal de tubos o espejo. Los tubos se colocan en arreglos ya sea triangular o cuadrado, la ventaja del espaciado cuadrado es que los tubos son accesibles para limpieza externa. (Kern, 1997).

Cuando el fluido que circula por la carcasa se mantiene en estado de turbulencia se logran coeficientes de transferencia de calor más altos. Para inducir la turbulencia, es costumbre usar deflectores que hacen que el fluido circule a través de la carcasa a ángulos rectos con el eje de los tubos, lo que causa una considerable turbulencia aun cuando por la carcasa circule una pequeña cantidad de fluido. La distancia de centro a centro entre los deflectores se llama espaciado de deflectores. (Kern, 1997).

## 2.2. MARCO HISTÓRICO

Desde la era antigua se creaban hipótesis para explicar el fenómeno de la transferencia de calor, se llegaba a intuir que el proceso de intercambio de calor debía a que un espíritu que habitaba un cuerpo caliente salía de él para habitar uno más frío, a medida que avanzó el tiempo se plantearon más teorías. A comienzos del siglo XVIII y comienzos del XIX, los científicos imaginaban que todos los cuerpos contenían un fluido invisible al cual llamaron *calórico*. Al calórico se le asignó una variedad de propiedades, algunas que probaron ser inconsistentes con la naturaleza. Pero su más importante propiedad era que fluía de cuerpos calientes a fríos. Era una manera útil de pensar acerca del calor.

Hoy en día, en la física, a éste flujo de calor, más propiamente transferencia de calor, se le define como el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que

R-DC-95

están a distinta temperatura. El calor se puede transferir por convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

La conducción es la transferencia de calor a través de un objeto sólido: es lo que hace que el mango de una varilla se caliente aunque sólo la punta esté en el fuego. La convección transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes: es lo que hace que el agua de una caldera se caliente uniformemente aunque sólo su parte inferior esté en contacto con la llama. La radiación es la transferencia de calor por radiación electromagnética (generalmente infrarroja): es el principal mecanismo por el que un fuego calienta una habitación.

De las tres formas de transferencia de calor, la que más ha gestado discusiones y dicotomías ha sido la teoría de transferencia de calor por radiación electromagnética.

### **2.3. MARCO LEGAL**

La norma EN407 especifica los métodos de ensayo, las exigencias generales, los niveles de eficiencia térmica y del marcado de los guantes de protección contra el calor y/o el fuego. Se aplica a todos los guantes que deben proteger las manos contra el calor y/o las llamas, bajo una o varias de las formas siguientes: fuego, calor de contacto, calor por convección, calor radiante, pequeñas protecciones de metal fundido o grandes proyecciones de metales en fusión. Los ensayos de productos sólo pueden ser realizados para niveles de eficiencia y no para niveles de protección.

R-DC-95

- NORMA AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE “ANSI” B16.21  
Recomienda las dimensiones para los diferentes tipos de empaques planos no metálicos utilizados para las diferentes clases de bridas atornilladas, tales dimensiones son el diámetro interior y exterior del empaque, número y diámetro de los barrenos ó agujeros.
- CÓDIGO AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS “ASME”  
Especifica los materiales y normas para la construcción de recipientes a presión, en donde, el intercambiador de calor de tubo y coraza es considerado como un recipiente bajo presión interna. Del código ASME sección VIII división 1, se observan recomendaciones para la fabricación de algunos componentes del intercambiador de calor de coraza y tubo.
- TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION “TEMA”  
La norma más ampliamente utilizada para el diseño, fabricación y selección de materiales de un intercambiador de calor de tubo y coraza es la Standard of Tubular Exchanger Manufacturers Association, “TEMA”. Ésta norma cataloga a los intercambiadores de calor de tubo y coraza en tres clases, de acuerdo al proceso y a las condiciones de operación. La clasificación es la siguiente:
  - Clase R: Incluye los intercambiadores de calor que se utilizan en la industria del petróleo y en procesos similares.
  - Clase C: Abarca a los intercambiadores de calor en procesos moderados tales como: comerciales y generales.
  - Clase B: Incluye los intercambiadores de calor que se utilizan en procesos químicos.

Limitaciones para cualquier clase:

R-DC-95

- Diámetro interno de la carcasa  $\leq 1.524$  mm (60 in)
- Presión  $\leq 207$  bar (3.000 psi)
- Espesor de la coraza  $\leq 50.8$  mm (2 in)
- Diámetros de pernos  $\leq 76.2$  mm (3 in)

## 2.4. MARCO CONCEPTUAL

La termodinámica es la disciplina que dentro de la ciencia madre, la Física, se ocupa del estudio de las relaciones que se establecen entre el calor y el resto de las formas de energía. Entre otras cuestiones la termodinámica se ocupa de analizar los efectos que producen los cambios de magnitudes tales como: la temperatura, la densidad, la presión, la masa, el volumen, en los sistemas y a un nivel macroscópico.

Dentro de esta disciplina está involucrada de gran forma la llamada transferencia de calor, esta se dice es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de energía térmica, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado de la Segunda ley de la termodinámica.

Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta. Una de las variables presentes en los procesos de transferencia es la

R-DC-95

temperatura que se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como «energía cinética», que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones.

A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que éste se encuentra más «caliente»; es decir, que su temperatura es mayor. La temperatura es una propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor, sin embargo, su significado formal en termodinámica es más complejo. Termodinámicamente se habla de la velocidad promedio o la energía cinética (movimiento) de las partículas de las moléculas, siendo de esta manera, a temperaturas altas, la velocidad de las partículas es alta, en el cero absoluto ( $0^{\circ}\text{K}$ ) las partículas no tienen movimiento. A menudo el calor o el frío percibido por las personas tiene más que ver con la sensación térmica (ver más abajo), que con la temperatura real. Otro concepto básico es el calor y se define como la transferencia de energía térmica que se da entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo, en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía. Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

La energía calórica o térmica puede ser transferida por diferentes mecanismos de transferencia, estos son la radiación, la conducción y la convección, aunque en la mayoría de los procesos reales todos se encuentran presentes en mayor o menor grado. Cabe resaltar que los cuerpos no tienen calor, sino energía térmica. Este

R-DC-95

proceso de transferencia térmica se realiza mediante un intercambiador de calor que es un radiador diseñado para transferir calor entre dos fluidos, o entre la superficie de un sólido y un fluido en movimiento. Son elementos fundamentales en los sistemas de calefacción, refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico, además están presentes en aparatos de la vida cotidiana como calentadores, frigoríficos, calderas, ordenadores, el radiador del motor de un automóvil, entre otros.

Todo este proceso de transferencia e intercambio de calor se puede controlar y analizar por medio de un simulador que es un programa informático o una red de ordenadores cuyo fin es crear una simulación de un modelo abstracto de un determinado sistema. Las simulaciones se han convertido en una parte relevante y útil de los modelos matemáticos de muchos sistemas naturales de ciencias como la física, geofísica, astrofísica, química y la biología; así como de sistemas humanos de economía, psicología y ciencias sociales. Además, se emplea en el diseño de nueva tecnología para llegar a comprender mejor su funcionamiento.

### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Para el desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto recopilamos los datos de trabajo dados en el diseño y elaboración del banco de transferencia de calor.

Los siguientes valores de las variables que intervienen en el Intercambiador de calor de coraza y tubos serán usados en HYSYS para realizar el análisis del proceso de transferencia de calor

Tabla 1. Variables intercambiador de coraza y tubos

<b>Variables intercambiador de coraza y tubos</b>	
<b>Coraza</b>	<b>Tubos</b>
Temperatura de entrada de la coraza: $t_1 = 26^\circ\text{C}$ (T. ambiente.)	Temperatura de entrada de los tubos: $T_1 = 60^\circ\text{C}$
Temperatura de salida de la coraza: $t_2 = 51^\circ\text{C}$ (T. pretendida.)	Temperatura de salida de los tubos: $T_2 = T_2$ (T. asumida)
Temperatura promedio de la coraza: $t_m = 38.5^\circ\text{C}$	Temperatura promedio de los tubos: $T_m = 56.5^\circ\text{C}$
Fluido circulante por la coraza: <i>agua fría</i>	Fluido circulante por los tubos: <i>agua caliente</i>
Caudal de la coraza: $Q_c = 5 \text{ lpm} = 0.08333 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	Caudal de los tubos: $Q_t = 18 \text{ lpm} = 0.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Densidad del fluido de la coraza: $\rho_c = 992.67 \text{ Kg}/\text{m}^3$	Densidad del fluido de los tubos: $\rho_t = 984.63 \text{ Kg}/\text{m}^3$
Flujo másico de la coraza: $\dot{m}_c = 0.08272 \text{ Kg}/\text{s}$	Flujo másico de los tubos: $\dot{m}_t = 0.29539 \text{ Kg}/\text{s}$

Calor específico del fluido de la coraza: $Cp_c = 4178.7 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K}$	Calor específico del fluido de los tubos: $Cp_t = 4183.6 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K}$
Viscosidad dinámica del fluido de la coraza: $\mu_c = 0.6731 \times 10^{-3} \text{ Kg/m.s}$	Viscosidad dinámica del fluido de los tubos: $\mu_t = 0.4929 \times 10^{-3} \text{ Kg/m.s}$
Numero de Prandtl del fluido de la coraza: $Pr_c = 4.473$	Numero de Prandtl del fluido de los tubos: $Pr_t = 3.172$
Conductividad térmica del fluido de la coraza: $k_c = 0.6286 \text{ W/m.k}^\circ$	Conductividad térmica del fluido de los tubos: $k_t = 0.6505 \text{ W/m.k}^\circ$
Resistencia de ensuciamiento flujo coraza: $Rf_c = 0.0001 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$ ( $T < 50^\circ\text{C}$ )	Resistencia de ensuciamiento flujo tubos: $Rf_t = 0.0002 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$ ( $T > 50^\circ\text{C}$ )

Autor: autores

Con respecto a los demás componentes del banco de transferencia de calor se tiene que los tanques de almacenamiento usados tienen una capacidad de 55 galones cada uno con una dimensión de 88 x 58 cm para el almacenamiento de aguas a diferentes temperaturas, uno pintado de azul el cual contiene agua fría y el otro pintado de rojo que contiene el fluido caliente, dichos tanques en el fondo cuentan con unas resistencias calefactoras que permiten mantener la temperatura del fluido.

En el banco también se hallan dos electrobombas con las siguientes especificaciones:

R-DC-95

Figura. 2. Especificaciones electrobombas

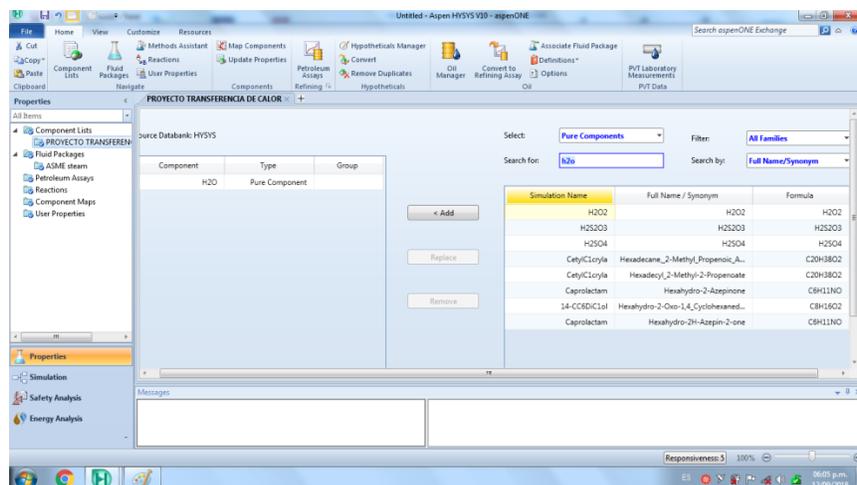
Bomba de agua periferica	Aplicaciones:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia: 1/2 hp</li> <li>• Voltaje: 110 v</li> <li>• Caudal máximo: 40 lts /min</li> <li>• altura de carga max.: 35 mts</li> <li>• amperaje: (a): 3,5</li> <li>• modelo: QB -00</li> <li>• Diámetro (salida y des carga): 1" x 1"</li> <li>• Garantía: 6 meses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevación a tanques.</li> <li>• Riego de jardines y pequeños huertos.</li> <li>• Presurización a través de equipos hidrofresh.</li> <li>• Lavado</li> </ul>

Autor: autores

Con los elementos nombrados anteriormente se realizara la simulación del proceso de transferencia de calor, a continuación se podrá evidenciar el paso a paso realizado en el simulador HYSYS.

Inicialmente en HYSYS creamos un nuevo caso (new case) que será llamado proyecto transferencia de calor y se procede a escoger el componente químico con el cual se trabajara, en este caso se escoge agua (H<sub>2</sub>O); también se debe escoger el paquete de fluidos con el cual se realiza la simulación, en la siguiente imagen se evidencia que el paquete escogido fue ASME steam debido a que es el recomendado para trabajar las simulaciones con agua.

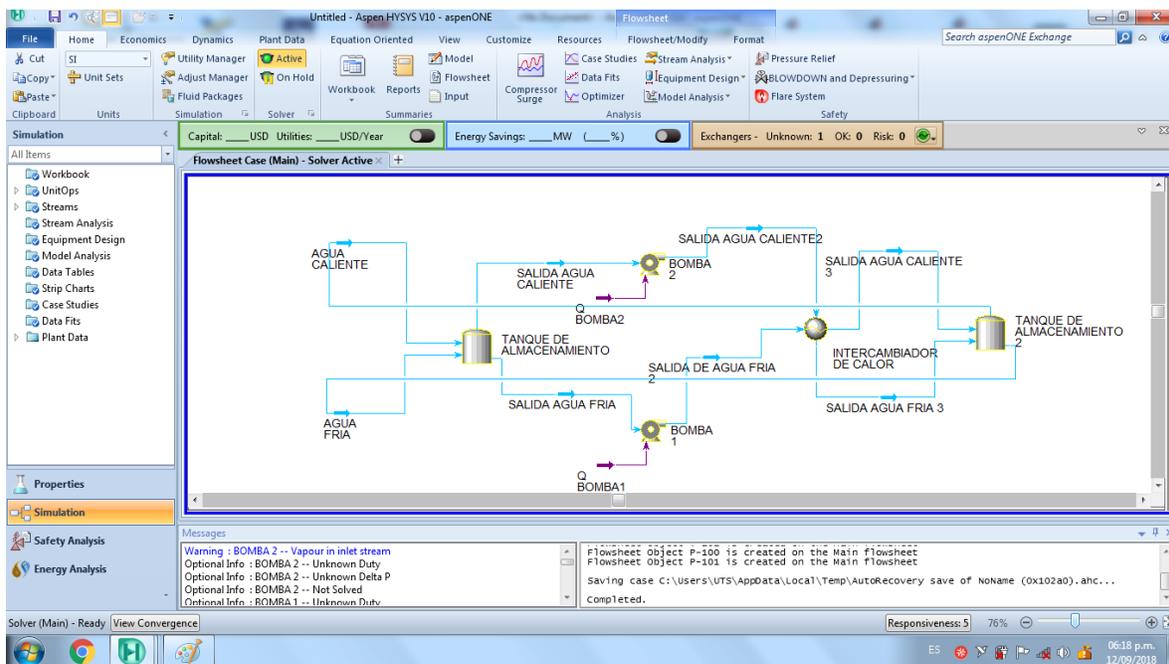
Figura 3. Elección componente y paquete de fluidos



Autor: autores

Luego de haber escogido el componente como también el paquete de fluidos se procede a iniciar la simulación, se definen las corrientes y los elementos que están implícitos en ella, el siguiente paso consiste en nombrar las corrientes y los elementos para poder diferenciarlos. En la próxima imagen se pueden identificar cada uno de los elementos, las corrientes y el sistema sobre el cual se trabajara.

Figura 4. Componentes y asignación de corrientes



Autor: autores.

Teniendo el sistema plenamente identificado se procede a definir las corrientes y los elementos con las variables que cada uno requiere. Al instante se define la corriente llamada agua caliente, se alcanza apreciar en la imagen el valor de todas las variables, dichos valores están asociados con la tabla 1 (Variables intercambiador de coraza y tubos), al definir esta corriente es importante agregar el valor de su composición, siendo que se tiene una sola sustancia su valor es uno

R-DC-95

(1,00), si se tuvieran varias, cada una deberá tener un valor que al sumarse su resultado final sea uno (1,00).

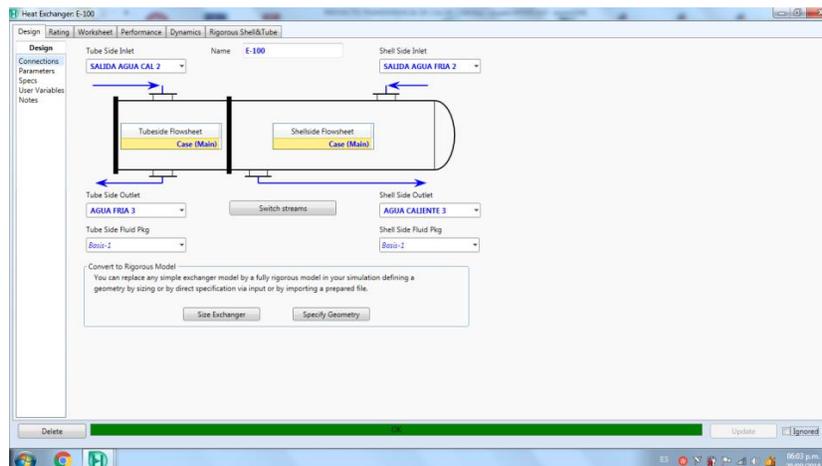
Figura 5. Definición corriente agua caliente

Stream Name	Vapour Phase	Aqueous Phase
AGUA CALIENTE		
Conditions	1.0000	0.0000
Vapour / Phase Fraction	1.0000	0.0000
Properties	375.4	375.4
Temperature [C]	375.4	375.4
Composition	6.462	6.462
Pressure [kPa]	6.462	6.462
Oil & Gas Feed	1.017	0.0000
Molar Flow [kgmole/h]	1.017	0.0000
Petroleum Assay	18.33	0.0000
Main Flow [kg/h]	18.33	0.0000
K Value	1.835e-002	1.835e-002
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1.835e-002	0.0000
User Variables		
Notes		
Molar Enthalpy [kJ/kgmole-C]	-2.405e+005	-2.841e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	149.7	9.715
Cost Parameters		
Heat Flow [kW]	-2.447e+005	-2.447e+005
Normalized Yields		
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	1.835e-002	0.0000
Fluid Package	Base-1	
Fluid Package	Base-1	
Utility Type		

Autor: autores

En la siguiente imagen se puede observar la definición de las entradas y salidas de fluido caliente y frio que se hallan en el intercambiador de calor.

Figura 6. Conexiones intercambiador de calor

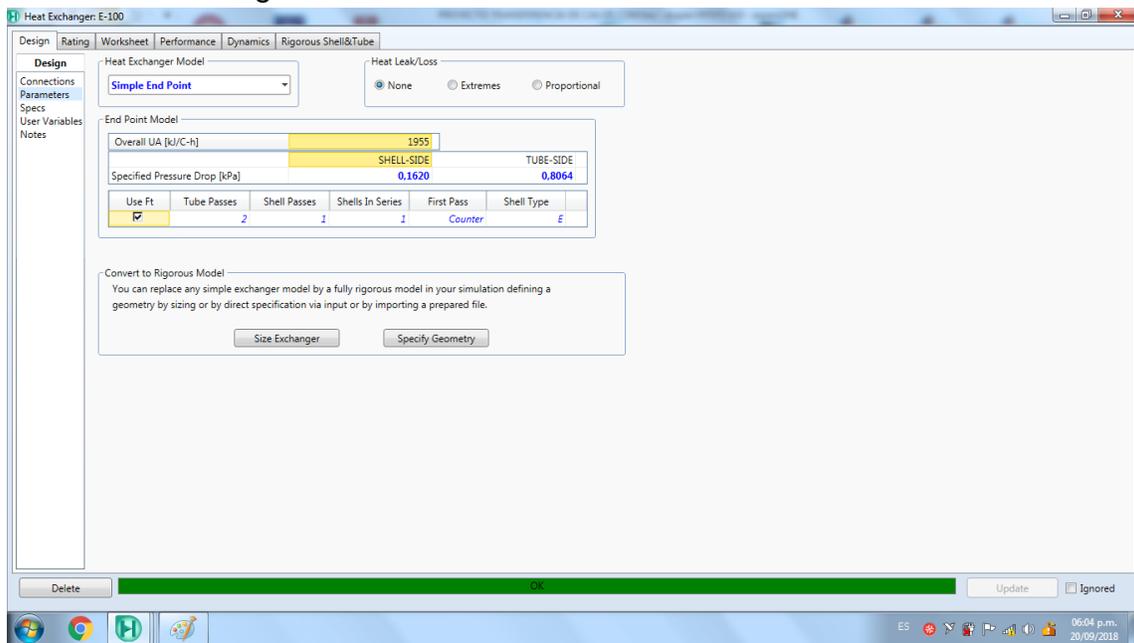


Autor: autores

R-DC-95

En esta imagen se observan los deltas de presión que se agregan tanto para la coraza como para los tubos del intercambiador de calor los cuales ayudan para una mejor definición de los valores de trabajo de dicho intercambiador.

Figura 7. Parámetros del intercambiador de calor



Autor: autores

En esta imagen se pueden ver los valores de entrada y salida a los que se encuentran trabajando las variables que están involucradas en el intercambiador y que ayudan a la definición de todo el sistema de transferencia de calor, dichos valores se asocian a los que se hallan en la tabla 1 (Variables del intercambiador de coraza y tubos).

R-DC-95

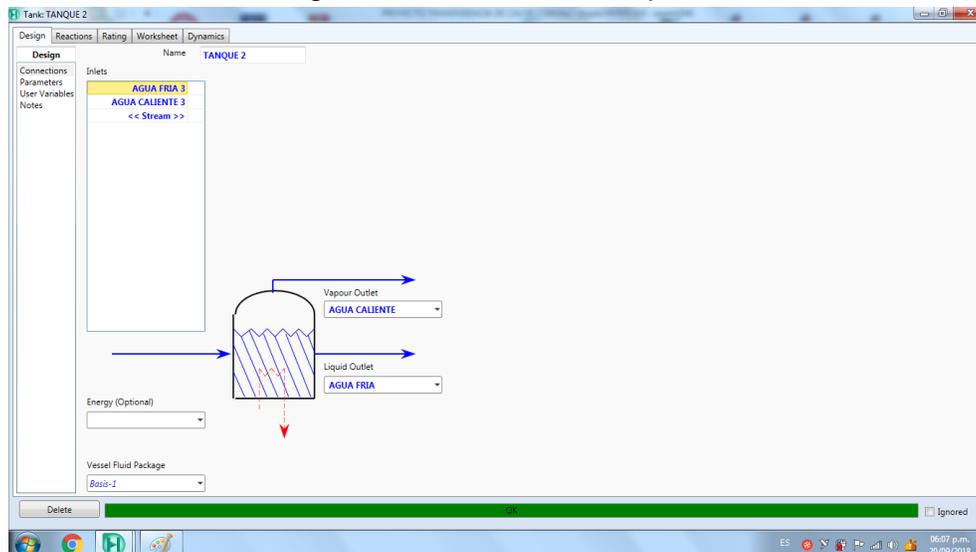
Figura 8. Tabla de trabajo del intercambiador de calor

	SALIDA AGUA CA	AGUA FRIA 1	SALIDA AGUA FRU	AGUA CALIENTE 1
Name	1.0000	0.0000	0.0000	0.9799
Vapour				
Temperature [C]	60.00	59.11	38.00	37.54
Pressure [kPa]	19.92	19.11	6.624	6.462
Molar Flow [kgmole/h]	1.000	1.000	1.000	1.000
Mass Flow [kg/h]	18.02	18.02	18.02	18.02
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1.805e-002	1.805e-002	1.805e-002	1.805e-002
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.399e+005	-2.824e+005	-2.840e+005	-2.415e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	142.6	14.77	9.827	146.8
Heat Flow [kJ/h]	-2.399e+005	-2.824e+005	-2.840e+005	-2.415e+005

Autor: autores

Se aprecia en esta imagen las conexiones del tanque dos (2), al cual ingresan un fluido caliente y uno frio, de la misma manera estos dos fluidos salen de dicho tanque con dirección al tanque uno (1) para que el proceso se repita y poder obtener los resultados esperados.

Figura 9. Conexiones tanque 2

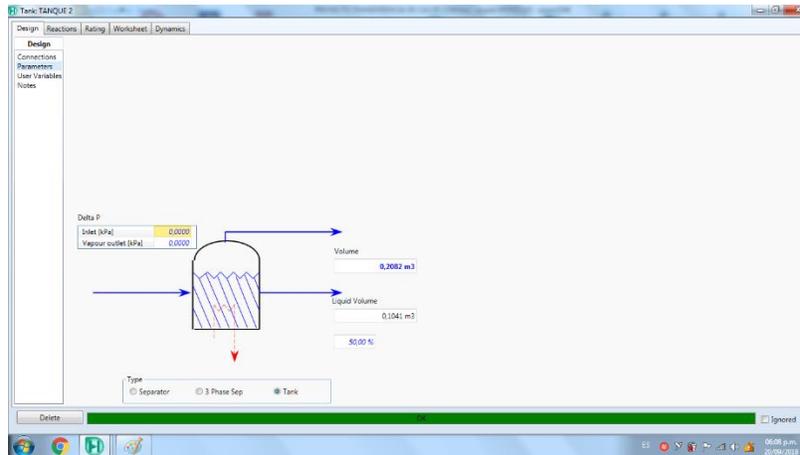


Autor: autores

R-DC-95

En la siguiente imagen se observa el valor del volumen calculado por el sistema en metros cúbicos, dado que su valor es de cincuenta y cinco galones (55 gal), dado esto el sistema calcula el volumen del líquido que se encuentra en el tanque.

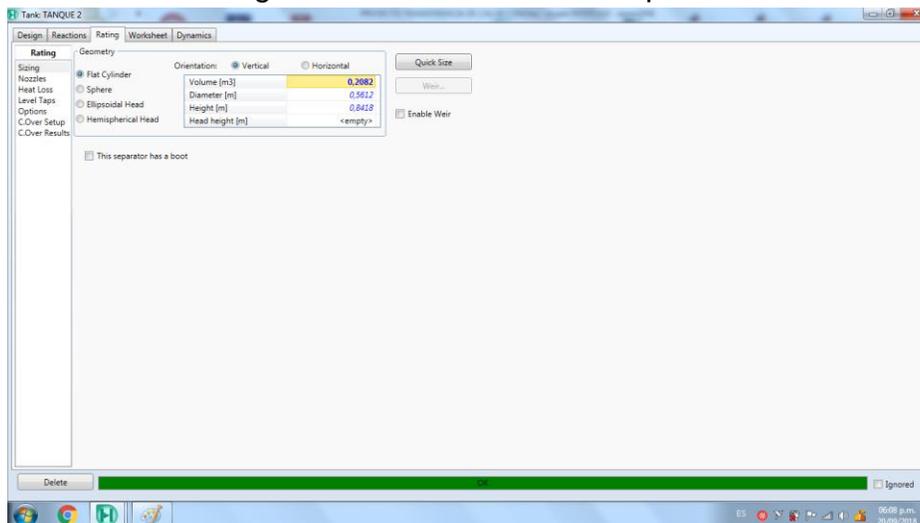
Figura 10. Parámetros del tanque 2



Autor: autores

En esta imagen se observan los valores calculados de diámetro, altura y volumen del tanque, también se encuentran la geometría del tanque el cual es un cilindro vertical.

Figura 11. Geometría del tanque 2



Autor: autores

R-DC-95

Se hallan en esta imagen los valores de trabajo para las variables presentes en la entrada y salidas de las corrientes de fluido presentes en el tanque dos (2).

Figura 12. Tabla de trabajo tanque 2

Property	AGUA FRÍA 3	AGUA CALIENTE	AGUA FRÍA	AGUA CALIENTE
Name	0.0000	0.9799	0.0000	1.0000
Vapour	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Temperature [K]	37.54	37.54	37.54	37.54
Pressure [Pa]	6.462	6.462	6.462	6.462
Molar Flow [kgmole/h]	1.000	1.000	0.9827	1.017
Mass Flow [kg/h]	18.02	18.02	17.70	18.33
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1.805e-002	1.805e-002	1.774e-002	1.836e-002
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.824e+005	-2.413e+005	-2.841e+005	-2.406e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	14.77	148.8	9.716	149.7
Heat Flow [kJ/h]	-2.824e+005	-2.413e+005	-2.792e+005	-2.447e+005

Autor: autores

Definición de la corriente de agua fría y los valores para cada una de sus variables es lo que se halla evidenciado en la siguiente imagen.

Figura 13. Definición corriente agua fría

Property	AGUA FRÍA	Vapour Phase	Aqueous Phase
Stream Name	AGUA FRÍA		
Vapour / Phase Fraction	0.0000	0.0000	1.0000
Temperature [K]	37.54	37.54	37.54
Pressure [Pa]	6.462	6.462	6.462
Molar Flow [kgmole/h]	0.9827	0.0000	0.9827
Mass Flow [kg/h]	17.70	0.0000	17.70
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	1.774e-002	0.0000	1.774e-002
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2.841e+005	-2.406e+005	-2.841e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	9.716	149.7	9.3903
Heat Flow [kJ/h]	-2.792e+005	0.0000	-2.792e+005
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	1.772e-002	0.0000	1.772e-002
Fluid Package	Basis-1		
Utility Type			

Autor: autores

## RESULTADOS

Se anexa vínculo de la simulación del banco de transferencia de calor realizada en HYSYS, titulada proyecto tecnología banco de transferencia de calor, en este archivo se podrá visualizar todos los equipos, los valores agregados a cada variable para que arroje como resultado la transferencia de calor esperada y así complementar los datos de creación del banco.

Simulación banco transferencia de calor



**Proyecto Tecnología  
banco de transferencia**

Autor: autores

#### **4. CONCLUSIONES**

En este proyecto se concluye que las herramientas de simulación que hay en la actualidad no solo benefician a las industrias para el mejoramiento de procesos sino que también pueden ser usadas como una herramienta pedagógica para ampliar los conocimientos que se obtienen mediante teoría, en este proyecto se muestra como es empleado un simulador para analizar las variables presentes en el proceso que se lleva a cabo en un banco de transferencia de calor y de qué forma pueden ser obtenidas, el mayor inconveniente a la hora de realizar este proyecto eran la falta de conocimientos sobre el funcionamiento del software, por lo que se necesitaron tutorías y ayudas pedagógicas para que esto no se convirtiera en una problemática alrededor del proyecto.

Una vez se obtuvieron los conocimientos necesarios se procede a realizar la simulación en HYSYS con la cual se obtuvieron los valores de las variables que están implícitas en este proceso y se puede así realizar el análisis del proceso de intercambio de calor que ocurre en el banco de transferencia de calor.

## **5. RECOMENDACIONES**

Se recomienda la implementación de las herramientas de simulación para complementar los conocimientos teóricos que se aprenden a lo largo de la carrera debido a que ayudan a visualizar de una mejor forma los procesos, teorías y/o procedimientos que se aprenden dentro de las aulas de clase.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

(Bula et al., 2011) Bula, A., Norte, U. del, Herrera, D. L., Norte, U. del, Navarro, L. F., Norte, U. del, ... Norte, U. del. (2011). Simulación del comportamiento termodinámico de un sistema de refrigeración solar por absorción. *Instname: Universidad del Norte*. Recuperado de <http://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/4023>

47803111. pdf. (s. f.). Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/478/47803111.pdf>  
CALOR Y TEMPERATURA. (2014, septiembre 28). Recuperado 7 de septiembre de 2018, de <https://athanieto.wordpress.com/tematicas/calor-y-temperatura/>

Hernández Medina, S. (2014). ANÁLISIS COMPUTACIONAL DEL FLUJO Y LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN SILENCIADOR PARA EL SISTEMA DE ESCAPE DEL MOTOR DE UN TRACTOR. Recuperado de <http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/5150>

Hernández Vélez, J. A., Cortés Torres, J. H., & Amell Arrieta, A. A. (2000). Calentamiento de fluidos con tubos inmersos : una alternativa eficiente para uso a nivel industrial. *instname: Universidad de Antioquia*. <https://doi.org/DOI:10.15446/energetica>

Holman, J. P. (2003). *Transferencia de calor*. México: CECSA.

R-DC-95

Längerer. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index//handle/123456789/130187>

calor en gases de chimenea de un horno de cubilote. *instname: Universidad de Antioquia*. Recuperado de

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/6215>

Monografias.com, andres\_marrugo. (s. f.). Transferencia de calor - Monografias.com. Recuperado 7 de septiembre de 2018, de

<https://www.monografias.com/trabajos18/transferencia-calor/transferencia-calor.shtml>

Moreno, M., & Andres, R. (2016). ESTUDIO COMPUTACIONAL DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN UNA PAILA PANELERA TIPO SEMIESFERICA. Recuperado de

<http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/7753>

Quintana, M., & Armando, L. (2009). Estudio del proceso de transferencia de calor convectivo en nanofluidos. Recuperado de

<http://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/113>

Richmond Salazar, E. (2011). Diseño y construcción de una interfaz de control de nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque para uso en prácticas de laboratorio. Recuperado de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/537>

Zajarov, S., & Javier, D. (2014). Simulación numérica del comportamiento de un intercambiador de calor de flujo transversal aleteado. *Pontificia Universidad*

R-DC-95

*Católica*                      *del*                      *Perú.*                      Recuperado                      de

<http://repositorio.pucp.edu.pe/index//handle/123456789/129508>

## 7. ANEXO

Se anexa vínculo donde se puede visualizar el reporte de la simulación donde se encuentran todos los resultados arrojados durante el proceso de transferencia de calor. En dicho reporte se encuentran los cambios de temperatura, presión y demás variables que forman parte del proceso.

Anexo 01. Reporte simulación.



Reporte simulacion  
transferencia de calor

Autor: autores