

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **BANCO DE PRUEBAS INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO**

Johnatan Steven Flórez García

Ingeniería Electromecánica

Asesor

Luis Fernando Cardona Sepúlveda

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2017**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Actualmente la facultad de ingenierías del instituto tecnológico metropolitano ofrece el programa de Ingeniería electromecánica en la cual se estudia la asignatura transferencia de calor. Esta materia es fundamental en la formación de ingenieros electromecánicos ya que trata de la rapidez de transferencia de la energía térmica. Sin embargo, no se tiene actualmente un banco de pruebas para realizar ensayos demostrativos en clase en los que se pueda encontrar la tasa de transferencia de calor de un intercambiador de calor, y variables tales como velocidad del aire y las temperaturas. En este trabajo se desarrolló un banco de pruebas para intercambiadores de calor en forma de radiador, en el cual se utilizó como fluido caliente el agua y fluido frío el aire. El banco de pruebas construido en este trabajo permite evaluar la tasa de transferencia de calor de una forma sencilla a partir de las temperaturas de entrada y salida del fluido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

A mi familia conformada por mi hijo Santiago, mi esposa, mi madre, mi padre, mi hermana y mis hermanos, personas que siempre me han dado su apoyo y me han guiado para salir adelante

Al docente Luis Fernando Cardona Sepúlveda que me apoyo y me guio dando lo mejor de el profesionalmente y humanamente, para que este proyecto saliera adelante

Al laboratorio de Fluidos del campus robledo, que me brindo el espacio y las herramientas para desarrollar el proyecto

Al ITM por brindarme una excelente educación formándome profesionalmente y personalmente

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

$\dot{Q}$  Tasa de transferencia de calor, kW

$\dot{m}$  Flujo másico, kg/s

$c_p$  Calor específico a presión constante kJ/kg . K

T temperatura, °C

v velocidad del aire, m/s

t tiempo, s

Vol volumen, l

$\rho$  densidad, kg/m<sup>3</sup>

V voltaje

A amperio

$\dot{V}$  Caudal de agua, m<sup>3</sup>/s

h coeficiente de transferencia de calor por convección,  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

k conductividad térmica,  $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$

Nu número de Nusselt

Re número de Reynolds

D diámetro, m

$\mu$  viscosidad dinámica,  $\frac{kg}{m \cdot s}$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

---

1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.1 Objetivo general .....	6
1.2 Objetivo específicos .....	6
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Balance de energía en intercambiadores de calor .....	7
2.2 Coeficiente total de transferencia de calor .....	9
2.2 Avances en diseño de intercambiadores de calor de flujo cruzado .....	11
3. METODOLOGÍA .....	18
3.1 Diseño conceptual .....	18
3.2 Descripción dispositivos que conforman el intercambiador de calor de flujo cruzado .....	19
3.3 Proceso de ensamblaje .....	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	35
4.1 Cálculo del flujo másico del intercambiador de calor .....	35
4.2 Pruebas experimentales para hallar la tasa de transferencia de calor a diferentes temperaturas .....	36
4.3 Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección interna a 80 °C en el intercambiador de calor .....	43
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	45
REFERENCIAS .....	47
APÉNDICE .....	48
Apéndice A – Guía didáctica intercambiador de calor .....	48
Apéndice B – Diagrama eléctrico banco experimental intercambiador de calor .....	61

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El intercambiador de calor de flujo cruzado es un equipo indispensable de las maquinas térmicas en el proceso de perdida de calor, ya que permite bajar las temperaturas y mejorar la eficiencia del proceso, es utilizado en la mayoría de máquinas térmicas, entre las cuales están los motores de combustión interna, refrigeración, calefacción, equipos de distribución y generación eléctrica, etc. Como se puede apreciar existe una gran variedad de aplicaciones del intercambiador de calor de flujo cruzado, por lo cual se han desarrollado numerosas investigaciones y tecnologías, buscando mejorar la eficiencia, mayor transferencia de calor, fluidos con mayor conductividad térmica, materiales más livianos y de mejor conductividad térmica, menor incrustación de los fluidos, mayor vida útil del intercambiador de calor, etc.

Es importante estudiar desde el ámbito universitario los intercambiadores de calor de flujo cruzado para desarrollar nuevos diseños, nuevos fluidos y aumentar la eficiencia térmica de los procesos industriales. Por tal motivo se evidencio la necesidad de construir un banco de pruebas de intercambiador de calor de flujo cruzado para la materia de transferencia de calor, termodinámica y maquinas térmicas por medio del cual el docente y el estudiante puedan comprobar y hallar la tasa de transferencia de calor

## 1.1 Objetivo general

Desarrollar y entregar a la comunidad académica del ITM un banco de pruebas de intercambiador de calor de flujo cruzado que permita realizar prácticas en el curso de transferencia de calor.

## 1.2 Objetivo específicos

- Fabricar un intercambiador de pruebas de flujo cruzado agua-aire
- Fabricar un banco de pruebas del intercambiador de calor de flujo en el cual se puede variar las condiciones de entrada y salida de temperatura de uno de los fluidos.
- Elaborar un manual que permita a cualquier usuario operar el equipo con facilidad y seguridad
- Calcular la tasa de transferencia de calor del intercambiador de calor de prueba a partir de los datos entregados por el banco de pruebas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

Los intercambiadores de calor son aparatos que facilitan el *intercambio de calor* entre *dos fluidos* que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. En la práctica, los intercambiadores de calor son de uso común en una amplia variedad de aplicaciones, desde los sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento del aire hasta los procesos químicos y la producción de energía en las plantas grandes.

### 2.1 Balance de energía en intercambiadores de calor

En la práctica los intercambiadores de calor son de uso común y un ingeniero se encuentra a menudo en la posición de seleccionar un intercambiador de calor que logre un cambio de temperatura específica de una corriente de fluido de flujo de masa conocido, o bien, de predecir las temperaturas de salida de las corrientes de fluido caliente y del frío en un intercambiador de calor específico.

Los intercambiadores de calor suelen operar durante largos periodos de tiempo sin cambios en sus condiciones de operación. Por lo tanto, se pueden considerar como aparatos de flujo estacionario. Un gran número de aparatos de ingeniería, como los calentadores de agua y los radiadores de los automóviles, implican flujo de masa, hacia adentro y hacia afuera de un sistema y se le consideran como volúmenes de control. La mayor parte de los volúmenes de control se analizan en condiciones estacionarias de operación. El término estacionario significa ningún cambio con el tiempo en una ubicación específica.

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal de un aparato de flujo, por unidad de tiempo, se llama gasto de masa o flujo másico y se denota por  $\dot{m}$ . Un fluido puede fluir hacia adentro o hacia afuera de un volumen de control a través de tubos o ductos. El gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto es proporcional al área de la sección transversal  $A_c$ , de ese tubo o ducto, la densidad  $\rho$  y la velocidad del fluido  $V$ .

$$\dot{m} = \rho V A_c$$

El volumen de un fluido que fluye por un tubo o ducto por unidad de tiempo se llama gasto volumétrico o caudal volumétrico  $\dot{V}$  y se expresa como:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para un sistema de flujo estacionario con una entrada y una salida, la velocidad del flujo de masa hacia adentro del volumen de control debe ser igual a la velocidad de flujo de masa hacia afuera de él, es decir,  $\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sal} = \dot{m}$ . Cuando los cambios en la energía cinética y potenciales son despreciables, que es el caso más común, y no se tiene interacción de trabajo, el balance de energía para tal sistema de flujo estacionario se reduce a la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$$

En condiciones estacionarias, la velocidad neta de transferencia de energía hacia un fluido en un volumen de control es igual a la velocidad de incremento en la energía de la corriente de fluido que fluye a través de ese volumen, Figura 1:

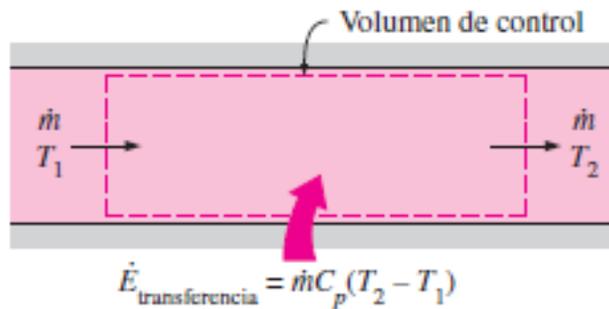


Figura 1. Condiciones estacionarias de flujo en un volumen de control. Tomado de: Çengel, Y.A. (2011). Transferencia de calor y masa, 4ta edición: McGraw-Hill

Las idealizaciones que acaban de describirse se logran muy aproximadamente en la práctica y simplifican mucho el análisis de un intercambiador de calor con poco sacrificio en la exactitud. Por lo tanto, son de uso común. Con estas suposiciones la primera ley de la termodinámica requiere que la velocidad de la transferencia de calor desde el fluido caliente sea igual a la transferencia de calor hacia el frío

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_{ph}(T_{h,ent} - T_{h,sal})$$

Donde el subíndice h se refiere al fluido caliente respectivamente, y

- $\dot{m}$  = gasto de masa
- $c_{ph}$  = calores específicos
- $T_{h,sal}$  = Temperatura de salida
- $T_{h,ent}$  = Temperatura de salida

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la figura 2 observamos que dos flujos de fluidos que tienen las mismas razones de capacidad calorífica experimentan el mismo cambio de temperatura en un intercambiador

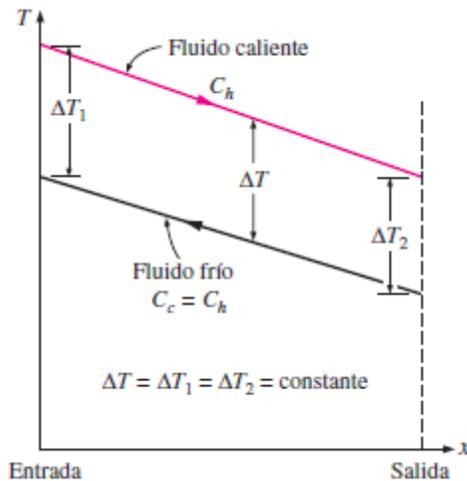


Figura 2. Temperatura vs distancia en un intercambiador de calor de flujo cruzado. Tomado de: Çengel, Y.A. (2011). Transferencia de calor y masa, 4ta edición: McGraw-Hill

## 2.2 Coeficiente total de transferencia de calor

Frecuentemente por los intercambiadores de calor fluyen dos fluidos separados por una pared sólida. En primer lugar, el calor se transfiere del fluido caliente hacia la pared por convección, después a través de la pared por conducción, y por último, de la pared hacia el fluido frío de nuevo por convección.

Existen unas resistencias térmicas asociadas a este proceso de transferencia de calor comprende dos resistencias por convección y una por conducción, como se muestra en la figura 3, los subíndices i y o representan las superficies interior y exterior respectivamente. Para un intercambiador de tubo doble, la resistencia térmica de la pared del tubo es

$$R_{pared} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kl}$$

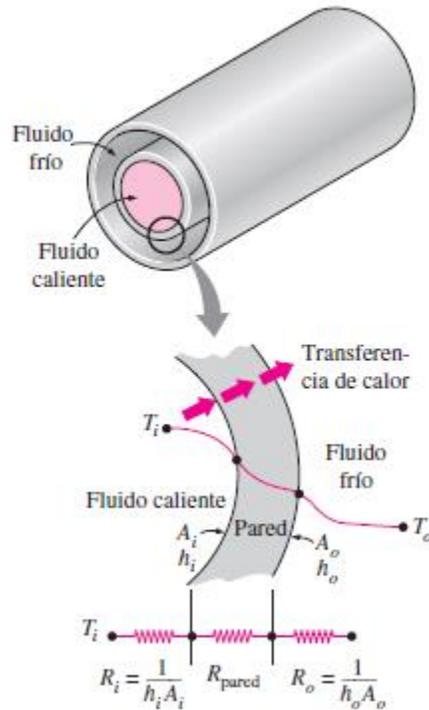


Figura 3. Red de resistencias térmicas en el tubo del intercambiador de calor. Tomado de: Çengel, Y.A. (2011). Transferencia de calor y masa, 4ta edición: McGraw-Hill

Con la ecuación de resistencia de la pared,  $R_i$  y  $R_o$  hallamos el coeficiente de transferencia de calor total y el resultado es la siguiente ecuación

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{pared} + \frac{1}{h_o A_o}$$

En la ecuación presentada se puede hallar el coeficiente de transferencia de calor por convección interno ( $h_i$ )

## 2.2 Avances en diseño de intercambiadores de calor de flujo cruzado

Los intercambiadores de calor de flujo cruzado son equipos usados ampliamente en otras aplicaciones distintas a los motores de combustión, por ejemplo en los equipos de transmisión eléctrica, aviación, calefacción, refrigeración, etc. En esta sección se muestran 4 ejemplos de la investigación actual de este tipo de intercambiadores de calor:

- **Intercambiadores de calor de fibra micro hueca de polímero (PHFHE)**

Los materiales poliméricos actualmente están ganando mucha importancia en todas las tecnologías donde se utilizan, pero especialmente está ganando importancia en el diseño y construcción de intercambiadores de calor. En comparación de los materiales que siempre se utilizan como lo son los metales, los convectores poliméricos tiene la ventaja de tener menos peso, menos costo, reciclabilidad, resistencia a la corrosión y bajo ensuciamiento. Con este desarrollo se estima ahorrar al año más de cien mil toneladas de aluminio en el mundo solo en la fabricación de intercambiadores de calor.

En este estudio se utilizaron dos diámetros diferentes de PHFHE uno de 0.6 mm y 0.8 mm, y un radiador de aluminio tradicional.

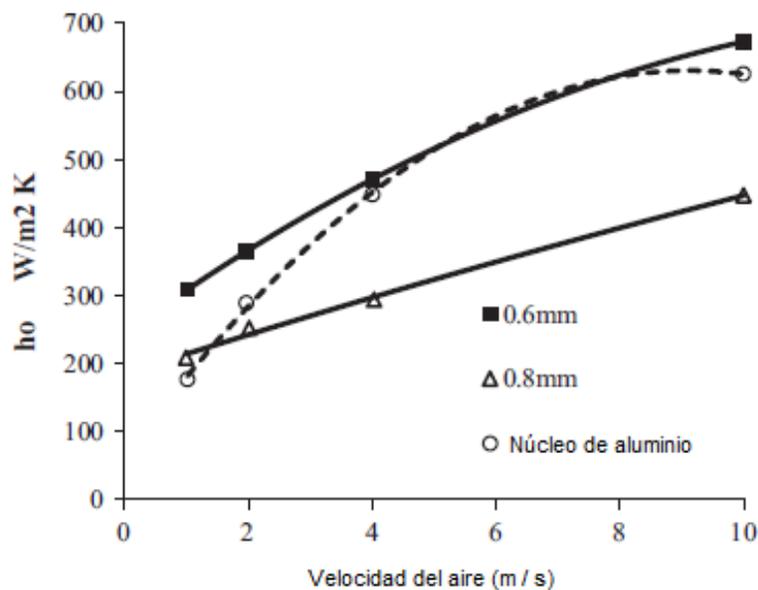


Figura 4. Grafica Coeficiente de transferencia de calor Vs Velocidad del aire. Tomado De: Ivo Krásný, Ilya Astrouski, Miroslav Raudenský (2016). Polymeric hollow fiber heat exchanger as an automotive radiator

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 4. observamos que el  $h_{conv}$  del PHFHE de 0.6 mm aumenta directamente con la velocidad del aire, muy por encima del núcleo de hierro.

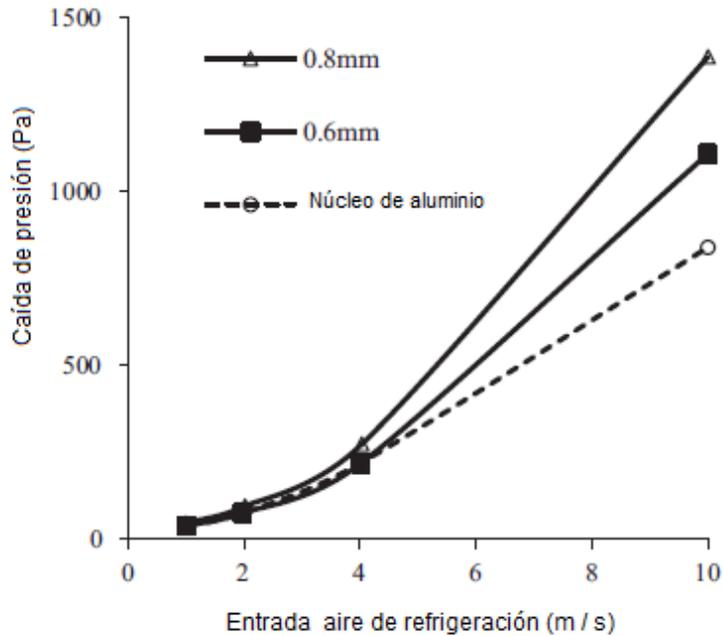


Figura 5. Grafica caída de presión Vs Entrada De aire. Tomado De: Ivo Krásný, Ilya Astrouski, Miroslav Raudenský (2016). Polymeric hollow fiber heat exchanger as an automotive radiator

En la Figura 5. Observamos que la caída de presión en (Pa) es mayor en el PHFHE de 0,8 y 0.6 mm que, en el núcleo de aluminio, por lo cual se obtiene una menor caída de presión en el núcleo de aluminio al aumentar la entrada de aire refrigerado.

Se puede concluir que el polímero PHFHE pueden ser un gran sustituto de los intercambiadores de calor tradicionales ya que pueden tener más vida útil y menos mantenimientos que los intercambiadores de calor metálicos, aunque se deben mejorar aspectos como la caída de presión, además investigación sobre materiales poliméricos más eficientes y mayor conductividad térmica.

- **Nanofluidos en intercambiadores de calor**

Desde la invención de los intercambiadores de calor se han utilizado fluidos derivados del petróleo o vegetales para ser utilizados en el proceso de transferencia de calor en los intercambiadores de calor, pero debido la poca conductividad térmica, alto costo en la producción, mayor factor de incrustación, mayor impacto ambiental y cantidad superior

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de mantenimientos se ha desarrollado una nueva tecnología llamada nanofluidos, un nanofluido es un fluido refrigerante sintético desarrollado por el hombre y tiene la ventaja principal en que tiene mayor conductividad térmica, viscosidad, difusividad térmica y transferencia de calor convectivo.



**Figura 6. Intercambiador de calor sumergido en agua con una resistencia para calentar. tomado De: Guilherme Azevedo Oliveira, Edwin Martin Cardenas Contreras, Enio Pedone Bandarra Filho (2017). Experimental study on the heat transfer of MWCNT/water nanofluid flowing in a car radiator**

En la Figura 5 observamos un banco experimental, en el cual hay una tubería de cobre enrollada en círculo en forma de radiador, sumergida una parte en agua donde se calienta con resistencia, y se genera convección forzada con ventilador, se utilizó un nano fluido de carbono de múltiples paredes de Nanotubos (MWCNT).

En este experimento se utilizó un método denominado homogeneización a alta presión para dispersar las partículas de (MWCNT) en agua, en concentración que varían desde 0.05% y 0.16%.

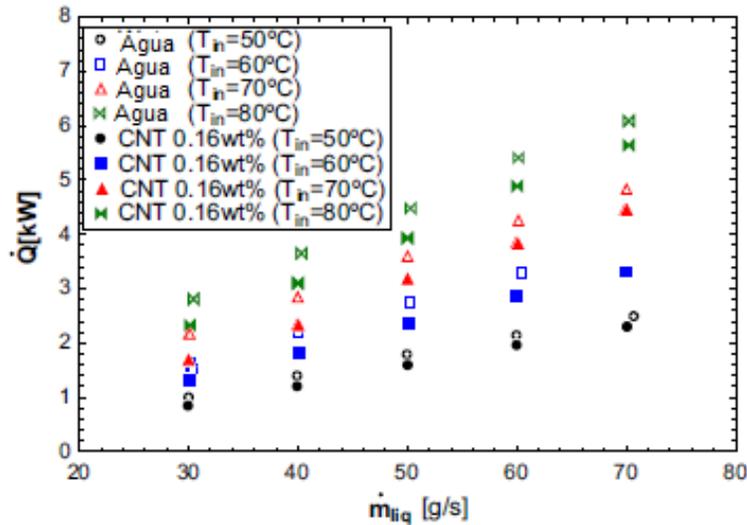


Figura 7. Grafica Tasa de transferencia de calor Vs Flujo másico. Tomado De: Guilherme Azevedo Oliveira, Edwir Martin Cardenas Contreras, Enio Pedone Bandarra Filho (2017). Experimental study on the heat transfer of MWCNT/water nanofluid flowing in a car radiator

En la Figura 7 observamos que siempre se mantiene el agua con la mayor tasa de transferencia de calor a medida que el flujo másico aumenta, queda muy por debajo el MWCNT al 0.16%.

Se puede concluir que el nanofluido MWCNT no tiene mayor tasa de transferencia de calor que el agua, por consiguiente, no sirve para ser utilizado como fluido en este proceso, pero muchos Nanofluidos actualmente superan a los fluidos convencionales, ya que permiten mayor duración en el proceso térmico, menor incrustación y menor tiempo de mantenimiento.

- **Intercambiador de calor de flujo cruzado en Transformadores de potencia**

Los transformadores de potencia se utilizan en la generación, distribución y transmisión de energía eléctrica AC en todo el mundo, el transformador de potencia es un equipo que funciona 100% del año sin desconexiones, es inevitable que a los transformadores y todos sus componentes eléctricos se genere calor debido al efecto joule, por tal motivo se han desarrollado radiadores por convección natural que sean más eficientes, permitan alargar la vida del equipo, sean de bajo costo y bajo mantenimiento

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la investigación se utilizó la metodología ONAN (Refrigeración por aire natural y aceite) en transformadores, se propuso un radiador con 40 secciones y la misma geometría de los anteriores radiadores utilizados en transformadores.

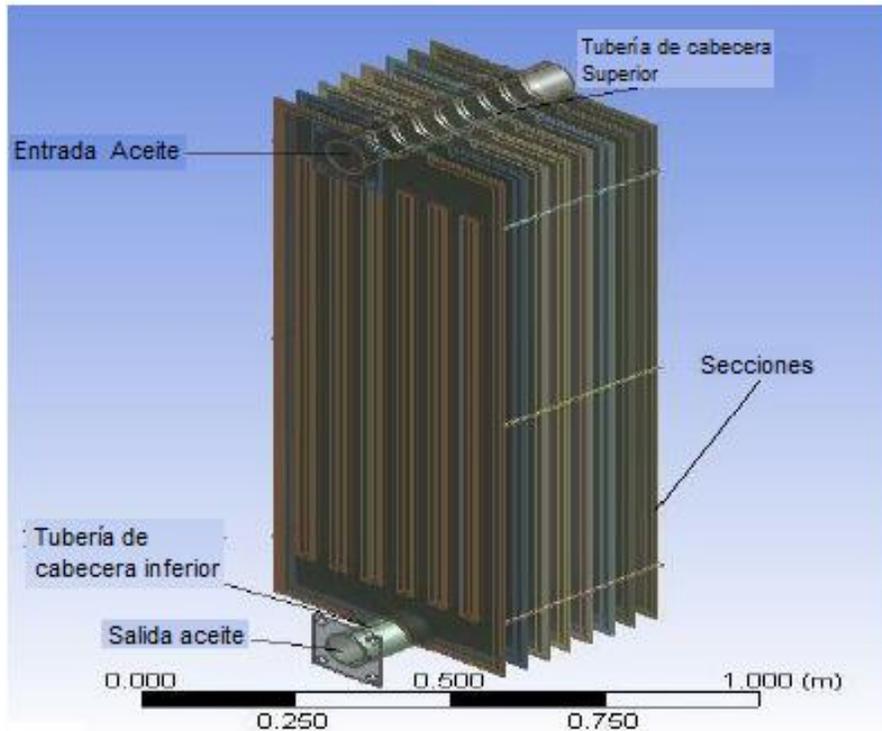


Figura 8. Esquema de un radiador de transformador eléctrico. Tomado de: Anishek, Sony R, Jayadeep Kumar J, Pradeep M Kamath, (2016). Performance Analysis and Optimisation of an Oil Natural Air Natural Power Transformer Radiator

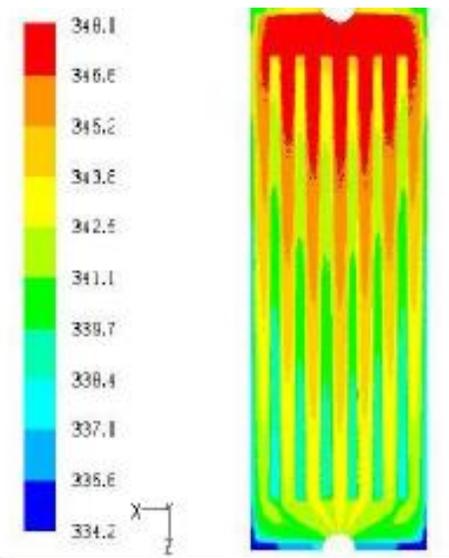


Figura 9 . Vista termica de una de las secciones del radiador. Tomado de: Anishek, Sony R, Jayadeep umar J, Pradeep M Kamath, (2016). Performance Analysis and Optimisation of an Oil Natural Air Natural Power Transformer Radiator

En la Figura 8, observamos como entra el fluido refrigerante a las secciones, por las diferentes secciones existen 7 canales por los cuales el fluido recorre del punto más caliente al más frío con esta configuración y haciendo un análisis termografico se encontró que solo en los cinco canales del medio el fluido se mueve más y produce la mayor transferencia de calor (Figura 9) lo que lleva a concluir que no es necesario tener muchos canales, sino un canal más ancho para mejorar la transferencia de calor

La transferencia de calor con 40 secciones mejoro en un 14% a los radiadores convencionales de 20 secciones, esta convección es natural, existe dos transferencias de calor en los transformadores por radiación debido a que están al aire libre recibiendo los rayos del sol y convección natural , se ha generado mayor tecnología para desarrollar equipos más eficientes en la transferencia de calor de los transformadores, ya que los transformadores están en casi la totalidad de los países y deben tener una vida útil extensa, bajos tiempos de mantenimiento y menor cantidad de fallas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Diseño Intercambiador de calor flujo cruzado para turbina de avión**

Las turbinas de los aviones, son uno de los equipos térmicos que mayor produce calor por lo cual requieren sistemas de enfriamiento con una transferencia de calor alta, bajo peso y con mayor confianza en el proceso térmico sin esperar fallas por los altos niveles de temperatura que se presentan hasta 1700°C, se propuso un intercambiador de calor de flujo cruzado Figura 10.

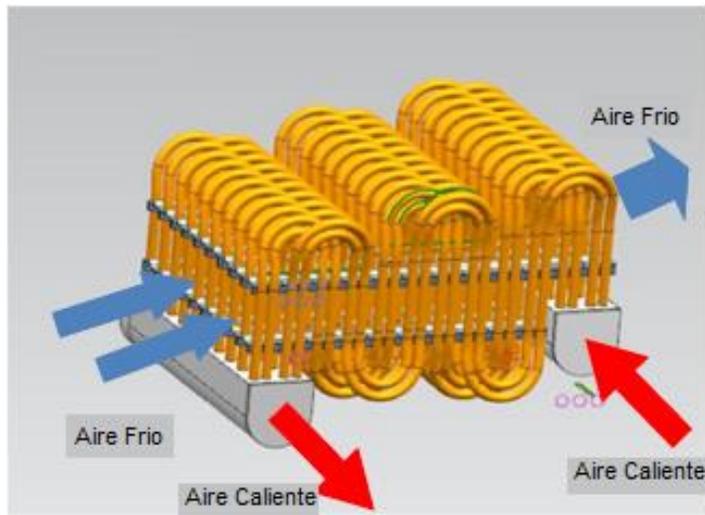


Figura 10. Vista general de intercambiador de calor para motor de turbina. Tomado De: Haiwang Lic, Haoran Huang, Guoqiang Xu, Jie Wen, Hongwei Wu (2017). Performance analysis of a novel compact air-air heat exchanger for aircraft gas turbine engine using LMTD method

Se aprecia en la figura 10. Los múltiples tubos en forma de serpiente que tiene el intercambiador de calor, lo cual permite mejorar la tasa de transferencia de calor en la entrada del aire caliente convirtiéndolo a frío rápidamente.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Diseño conceptual

Para el desarrollo del intercambiador de flujo cruzado se tuvieron en cuenta varios aspectos, el primero era facilitar al estudiante o docente la mínima intervención en el proceso por lo cual el intercambiador debería de ser autónomo para cargar el agua, también el diseño del intercambiador debía de ser de un material con alta conductividad térmica y una geometría sencilla, que se pueda desmontar para ensayar con otro radiador, se tuvo en cuenta la seguridad para el estudiante y docente ya que el tanque de agua caliente principal y el secundario del proceso no deben quedar expuestos, en la Figura 11. Observamos el esquema básico del intercambiador de calor

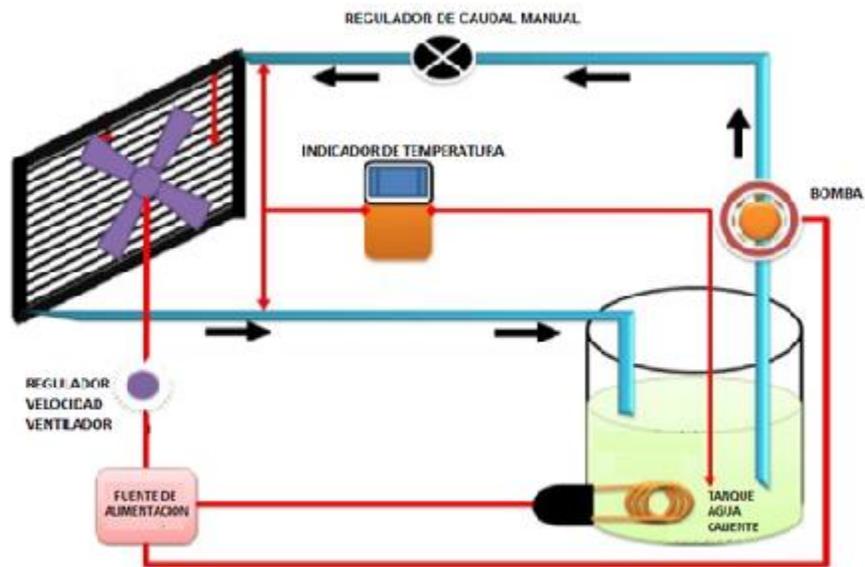


Figura 11. Esquema básico de un banco de intercambiador de calor

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

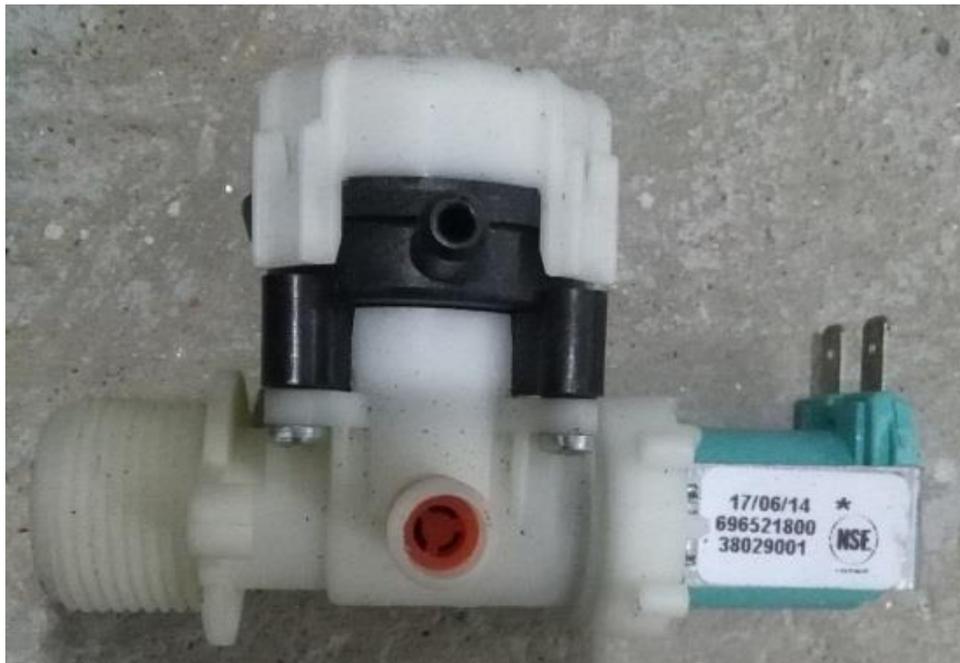
### 3.2 Descripción dispositivos que conforman el intercambiador de calor de flujo cruzado

Se dividió en cuatro grupos

- Hidráulica
- Eléctrica y electrónica
- Intercambiador de calor
- Accesorios

#### 1- Parte hidráulica:

- Electroválvula entrada de agua (Figura 12)



**Figura 12.** vista general electroválvula de entrada de agua

La electroválvula entrada de agua, permite llenar el tanque cuando este vacío o sin suficiente cantidad de agua, este se bloquea cuando el tanque está lleno, voltaje de funcionamiento 120 VAC.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

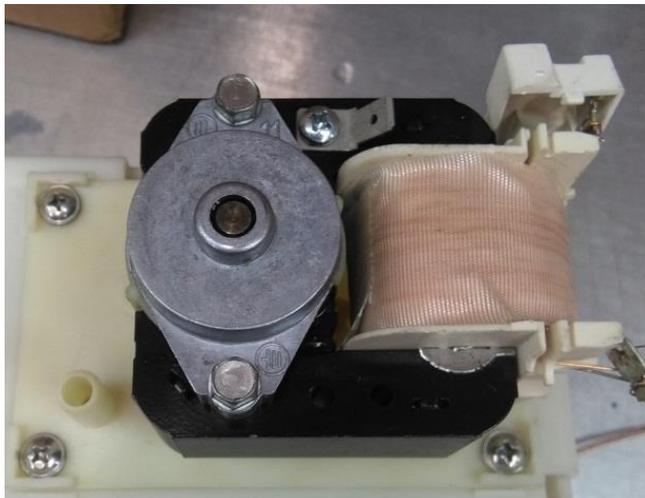
- Tanque de agua para calentar y recibir el agua del intercambiador, con su tapa (Figura 13)



**Figura 13.** Tanque de agua con todos los componentes

Este tanque es de material plástico, permite alcanzar más de 120 °C en su interior, este material permite no perder calor al transferirlo al exterior, en la tapa van instalados todos los componentes.

- Bomba semisumergible (Figura 14)



**Figura 14.** Bomba semisumergible con sus conexiones eléctricas

La bomba semisumergible es la encargada de bombear el agua caliente del tanque y llevarla al intercambiador de calor, tiene 15 cm de alto, su material es plástico el cual puede trabajar hasta 120 °C, voltaje de funcionamiento 120 VAC

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Flotador de agua con micro switch (Figura 15)



**Figura 14.** Flotador de agua blanco y microswitch en base

El flotador de agua se encuentra dentro del tanque sube o baja dependiendo de la cantidad de agua del tanque este va unido al microswitch hace cambiar el estado de apertura, este sistema es el encargado de abrir o cerrar la electroválvula de entrada de agua, como también los leds tanque lleno y tanque vacío.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2- Parte eléctrica, electrónica y de control

- Resistencia eléctrica sumergida en el tanque (Figura 16)



**Figura 16.** Resistencia eléctrica enrollada de alta eficiencia

Resistencia eléctrica sumergida en el tanque principal, se activa cuando el controlador de temperatura la activa, resistencia de alta eficiencia para alcanzar la temperatura en el menor tiempo posible, Voltaje 120 VAC, 1100 W

- Control de temperatura Digital con su sonda NTC (Figura 17)



**Figura 17.** Controlador de temperatura con su termistor

El controlador de temperatura me permite variar la temperatura al valor deseado, lleva una sonda NTC que está sumergida en el tanque principal, lo cual permite observar como aumenta o disminuye la temperatura, voltaje funcionamiento 120 VAC, contacto normalmente abierto para activar la resistencia eléctrica.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Indicadores de temperatura (Figura 18)



**Figura 18.** Indicador de temperatura con su termistor

El indicador de temperatura lleva un termistor el cual va dentro de la tubería del intercambiador de calor en su entrada y salida, permite saber qué valor de temperatura pasa el fluido, rango de operación entre 0 – 110°C.

- Motor 24 VDC (Figura 19)



**Figura 19.** Motor 24 VDC

El motor 24 VDC, está conectado con la hélice formando el ventilador, permite cambiar fácilmente su polaridad, y variar su velocidad, voltaje de operación 24 VDC, 12W.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Termostato (Figura 20)



**Figura 20.** Termostato con su bulbo

El termostato es un dispositivo de seguridad que está en su parte eléctrica conectado en serie al voltaje de la resistencia, y su bulbo está sujeto a la resistencia en el tanque, su función es interrumpir el voltaje de la resistencia cuando esta supera los 120 °C

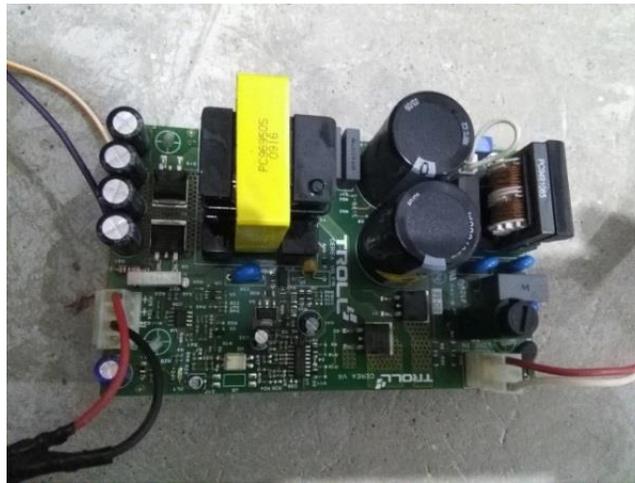
- Térmicos (Figura 21)



**Figura 21.** Vista general de térmicos conectados en serie con la resistencia

Los térmicos están en el tanque donde pasa el agua, su función es interrumpir el voltaje de la resistencia sumergida en el tanque, cuando la temperatura del agua excede los 100°C

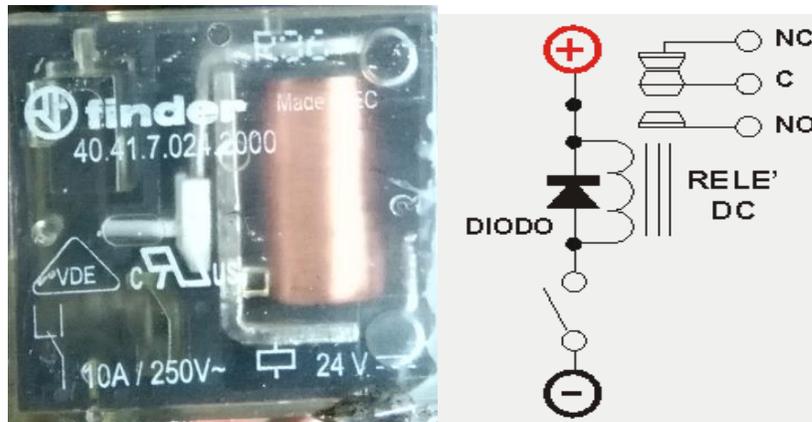
- Fuente 24 VDC (Figura 22)



**Figura 22.** Fuente de Voltaje 24 VDC, Vista conexiones eléctricas

La fuente permite convertir 120 VAC a 24 VDC, para el trabajo de los dispositivos de control relé, motor ventilador, y demás componentes.

- Relé 24 VDC (Figura 23)

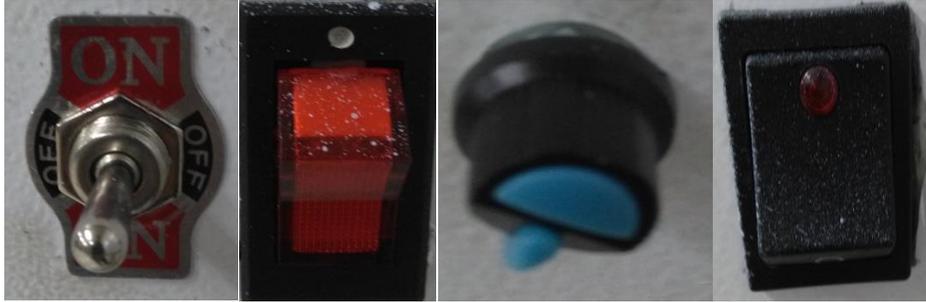


**Figura 23.** Vista del relé y su diagrama de conexión eléctrica

El relé se activa a 24 VDC, en su bobina se conectó un diodo en paralelo como muestra la figura 3, para evitar que circulara corriente contra flujo, el relé permite abrir y cerrar contactos, controla la resistencia, los leds, la electroválvula entrada de agua y el cambio de giro del ventilador.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Pulsadores y Switche (Figura 24)



**Figura 24.** de izquierda a derecha (Switche en codo, pulsador ON/OFF, Perilla Ventilador, Pulsador ON/OFF)

Permiten abrir y cerrar el voltaje de los diferentes dispositivos conectados, el potenciómetro varía la velocidad del motor del ventilador.

### 3 - Intercambiador De calor

- Tubería de cobre de 3/8 in (Figura 25)

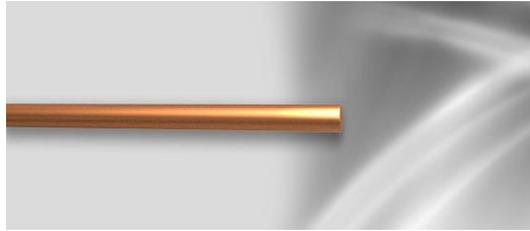


**Figura 25.** Tubería de cobre 3/8 in, utilizada en refrigeración y gas

Se utilizó 1 metro de tubería de cobre de 3/8 in, para utilizarla en el intercambiador de calor, se dobló en forma de serpiente para utilizarlo como radiador.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Alambre calibre 12 AWG como aletas (Figura 26)



**Figura 26.** Alambre calibre 12 AWG

Se cortan a 30 cm, para soldarlos al intercambiador de calor par ser utilizados en forma de aletas, se utilizan 12.

- Hélice y base para fijarlo (Figura 27)



**Figura 27.** De izquierda a derecha (Hélice ventilador y base)

Hélice y guarda para ensamblar con el motor de 24 VDC y formar el ventilador.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4 – Accesorios

- Anemómetro (Figura 28)



**Figura 28.** Anemómetro digital

Instrumento que sirve para medir la velocidad de circulación del aire, se utiliza para saber cuál es la velocidad que tiene el aire a la salida del ventilador.

- Racor y reductor de ½ in (Figura 29)



**Figura 29.** Racor y reductor conectado a la red hídrica

El racor y reductor, permiten conectar de manera fácil la manguera de 3/8 in, con la tubería de agua y la electroválvula

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Soporte fijo para bulbo termostato con resistencia eléctrica (Figura 30)



**Figura 30.** Soporte para bulbo termostato

Este soporte sostiene fijamente el bulbo del termostato con la resistencia eléctrica sumergida en el tanque.

- Caja de madera triple, 50 cm ancho x 50 cm de profundo x 30 cm alto (Figura 31)



**Figura 31.** Vista general de la caja terminada sin pintar

Dentro de la caja se introducen los dos tanques, se instala el ventilador y la caja de control.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Caja metálica de control, 20cm de ancho x 20 cm de alto x 15 cm profundo (Figura 32)



**Figura 32.** Caja metálica para control del banco experimental.

Caja metálica donde se instalan los dispositivos de control e indicadores.

- Guarda de ventilador metálica (Figura 33)



**Figura 33.** Guarda metálica para mejorar el flujo de aire y para evitar accidentes de corte con el ventilador

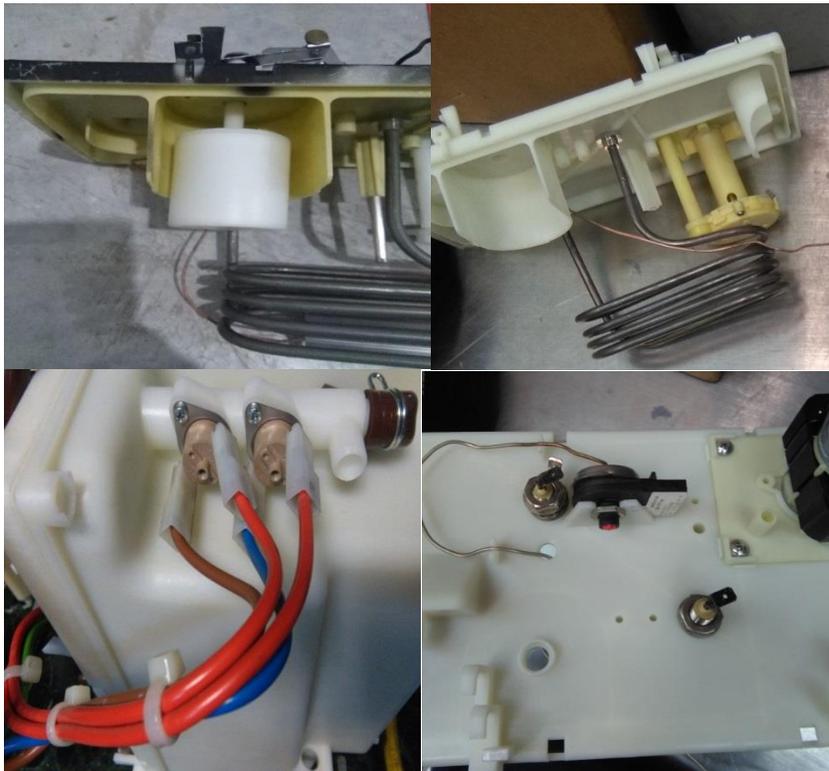
Esta guarda se hizo con una hoja metálica a la medida del ventilador, para evitar la pérdida de aire del ventilador y también para protección.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3.3 Proceso de ensamblaje

1) Con todos estos accesorios, se comenzó a ensamblar el tanque el cual tiene una capacidad de 5 L, se fijaron los componentes a la tapa del tanque como se muestra en la Figura 34. Estos componentes son:

- 1 Resistencia eléctrica
- 1 Flotador
- 1 microswitche
- 1 termostato
- 2 térmicos
- 1 bomba semisumergible
- 1 sonda de temperatura



**Figura 34.** Vista general de dispositivos ensamblados del tanque

2) En la caja de control se instaló los dispositivos de control e indicadores como se observa en la Figura 35. Estos componentes son:

- 1 Control de temperatura
- 2 indicadores de temperatura
- 3 switch ON/ OFF

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- 1 Swicthe codo, tres posiciones
- 1 potenciómetro



**Figura 35.** Dispositivos ya instalados en la caja de control

- 3) En el intercambiador de calor, se utilizó un tubo de cobre de 3/8 que se utiliza en refrigeración o redes de gas, se dobló el tubo en forma de serpiente y se utilizó alambre eléctrico calibre 12 AWG como aletas, se instaló ventilador y guarda, como se ilustra en la figura 36:



**Figura 36.** Intercambiador de calor con aletas y ventilador ya instalados

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- 4) En la caja se insertan los dos tanques, el primer tanque donde calienta el agua y bombea, el segundo tanque donde recibe el agua caliente, motor ventilador y cableado se observa en la figura 37.



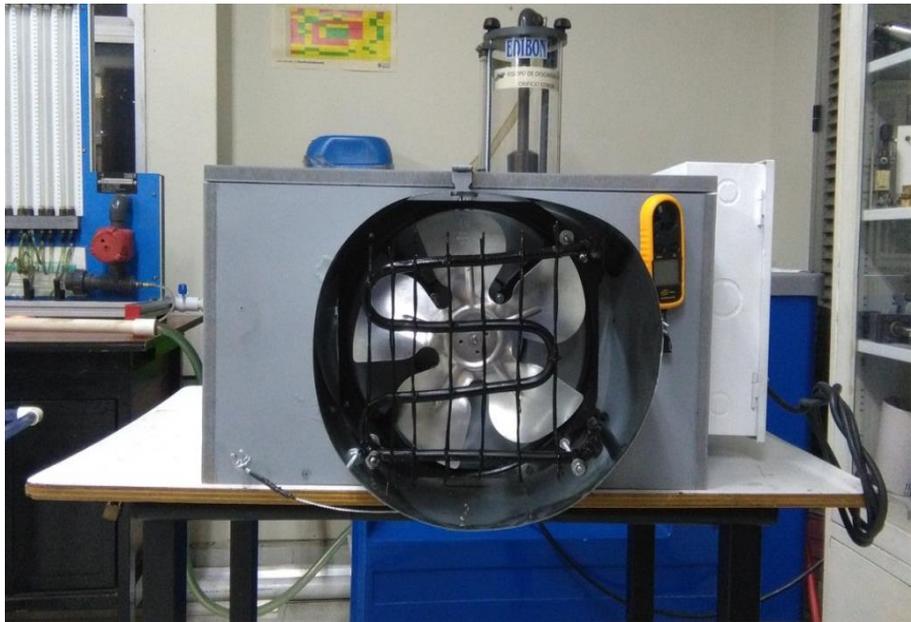
**Figura 37.** Tanque principal y secundario dentro de la caja

- 5) Se pinta la caja para impedir que la madera se degrade en el exterior como se observa en la Figura 39:



**Figura 39.** Equipo en proceso de pintura en la cabina de pintura del ITM de robleado

- 6) Imagen equipo Terminado Parte intercambiador de calor Figura 40:



**Figura 40.** Parte intercambiador, ventilador, Guarda y anemómetro terminado

7) Imagen equipo Terminado Parte control e indicadores Figura 41:



**Figura 41.** Parte control e indicadores

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### 4.1 Cálculo del flujo másico del intercambiador de calor

Para utilizar la ecuación de tasa de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$$

Se tenía que hallar el flujo másico  $\dot{m}$ , el cual encontramos de la siguiente manera:

Utilizamos un tanque de 5 l, activamos la bomba y a treves de un regulador manual lo cerramos al 0%, 50% y al mínimo 95% para saber que flujo másico permitía observar mejor la práctica del cambio de temperatura en los dos indicadores del radiador

$$\dot{m} = \rho \dot{v}$$

Donde  $\rho$  es densidad del agua la cual es  $1000 \frac{kg}{m^3}$

$\dot{v}$  Tiene la siguiente ecuación  $\frac{v}{t}$

#### a) Flujo másico de la bomba sin regulador al 0%

$$\dot{v} = \frac{5 l}{51 s} \times \frac{250 cm^3}{0.25 l} \times \frac{1 m^3}{(100 cm)^3} = 98.039 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{m}_{0\%} = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 98.039 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} = 0.098039 \frac{kg}{s}$$

#### b) Flujo másico de la bomba con regulador al 50%

$$\dot{v} = \frac{5 l}{98 s} \times \frac{250 cm^3}{0.25 l} \times \frac{1 m^3}{(100 cm)^3} = 51.02 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\dot{m}_{50\%} = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 51.02 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} = 0.051 \frac{kg}{s}$$

**c) Flujo másico de la bomba con regulador al 95%**

$$\dot{v} = \frac{5 l}{217s} \times \frac{250 cm^3}{0.25 l} \times \frac{1 m^3}{(100 cm)^3} = 23.0415 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{m}_{5\%} = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 23.0415 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s} = 0.02304 \frac{kg}{s}$$

Utilizamos la bomba con regulador al 95% ya que nos permite visualizar los cambios en los indicadores de temperatura, obteniendo resultados reales sin mucha variación o error por falta de flujo de agua

## 4.2 Pruebas experimentales para hallar la tasa de transferencia de calor a diferentes temperaturas

Hallamos la tasa de transferencia de calor con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$$

Se realizan dos pruebas, la primera con guarda en el intercambiador de calor para disminuir la pérdida de flujo de aire en las paredes (Figura 42), y la segunda sin guarda en el intercambiador para observar los resultados (Figura 43).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 42.** Intercambiador con guarda metálica



**Figura 43.** Intercambiador sin guarda

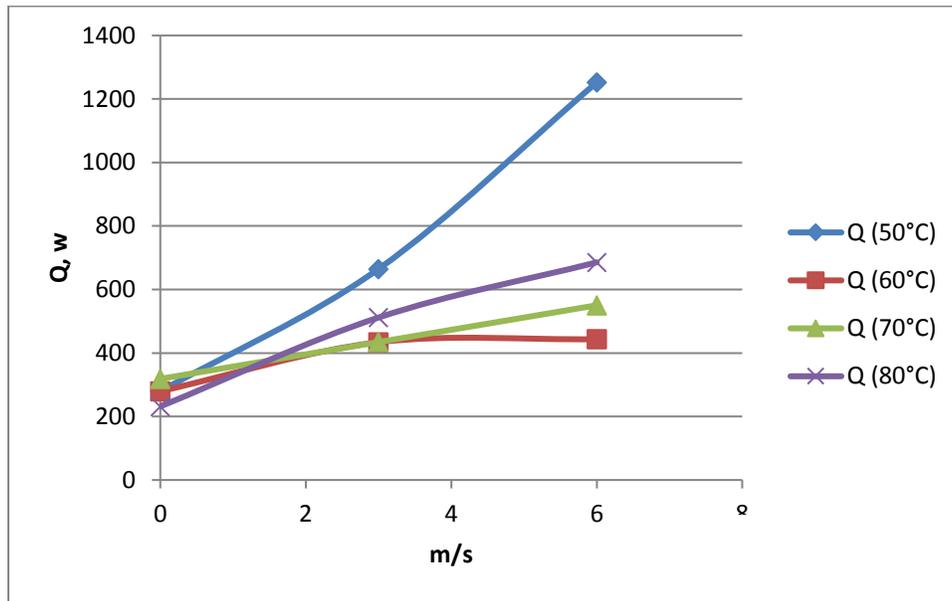
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ventilador con Guarda ( $\dot{m} = 0,02304 \frac{kg}{s}$ )					
Set Point (°C)	Velocidad Ventilador (m/s)	Temperatura Entrada (T1) °C	Temperatura Salida (T2) °C	Cp (J/kg . K) Agua Liquido	$\dot{Q}, W$
<b>50</b>	0	48,1	45,2	4181	279,357696
	3	47,8	40,9		664,678656
	6	49	36		1252,29312
	2 (Ventilador En reversa)	47,2	42,5		452,752128
<b>60</b>	0	57,9	55	4185	279,62496
	3	58,3	53,8		433,9008
	6	56,6	52		443,54304
	2 (Ventilador En reversa)	57,8	52,3		530,3232
<b>70</b>	0	68,3	65	4190	318,57408
	3	68,3	63,8		434,4192
	6	67,5	61,8		550,26432
	2 (Ventilador En reversa)	68,1	63,8		415,11168
<b>80</b>	0	77,4	75	4191	231,745536
	3	77,4	72,1		511,771392
	6	77,3	70,2		685,580544
	2 (Ventilador En reversa)	78,1	72,8		511,771392

**Tabla 1-1.** Resultados pruebas experimentales intercambiador de calor de flujo cruzado con guarda metálica en ventilador.

- El  $c_p$  del agua se encuentra en el libro de transferencia de calor de YUNUS A. ÇENGEL.
- Las velocidades del ventilador se obtienen con el anemómetro.

**Nota:** el ventilador trabajando en reversa succiona el aire ambiente que impacta con el intercambiador de calor. Por otra parte, en condiciones normal de operación el ventilador donde se puede variar empuja el aire hacia el intercambiador de calor.



**Grafica 1-1.** Set point vs transferencia de calor  $\dot{Q}$  (Velocidad ventilador de  $0,3,6 \frac{m}{s}$ ) con guarda.

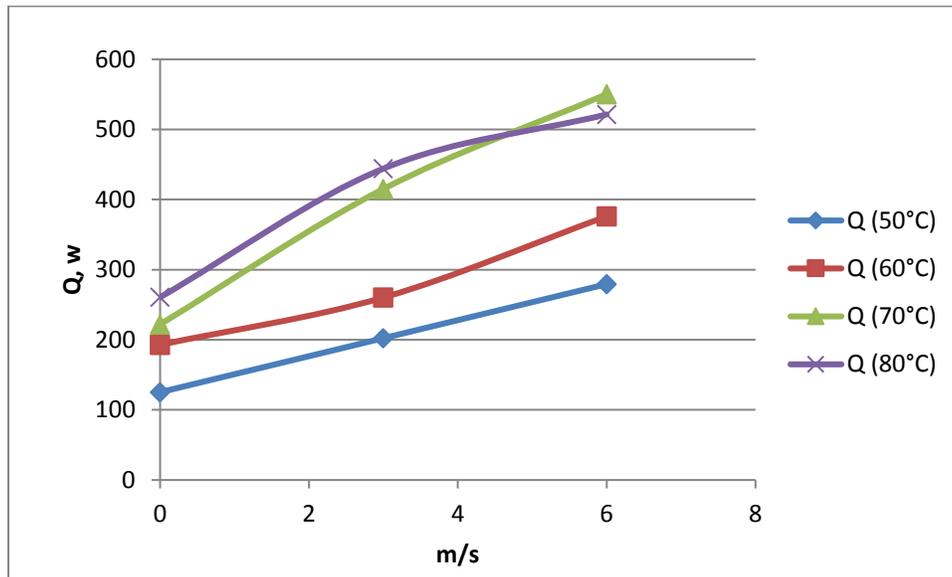
En la Gráfica 1-1. Se puede apreciar que en el intercambiador de flujo cruzado la tasa de transferencia es mayor cuando el set point esta con baja temperatura y empieza a disminuir a medida que aumenta el set point de temperatura.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ventilador Sin Guarda ( $\dot{m} = 0,02304 \frac{kg}{s}$ )					
Set Point (°C)	Velocidad Ventilador (m/s)	Temperatura Entrada (T1) °C	Temperatura Salida (T2) °C	Cp (J/kg . K) Agua Liquido	$\dot{Q}, W$
<b>50</b>	0	48,6	47,3	4181	125,229312
	3	48,5	46,4		202,293504
	6	49,2	46,3		279,357696
	2 (Ventilador En reversa)	48,6	44,9		356,421888
<b>60</b>	0	58,9	56,9	4185	192,84448
	3	58,2	55,5		260,34048
	6	58,1	54,2		376,04736
	2 (Ventilador En reversa)	58,8	53,4		520,68096
<b>70</b>	0	67,8	65,5	4190	222,03648
	3	67,9	63,6		415,11168
	6	67	61,3		550,26432
	2 (Ventilador En reversa)	68,1	61,6		627,4944
<b>80</b>	0	78,8	76,1	4191	260,713728
	3	78,5	73,9		444,178944
	6	77,5	72,1		521,427456
	2 (Ventilador En reversa)	77,8	70,2		733,860864

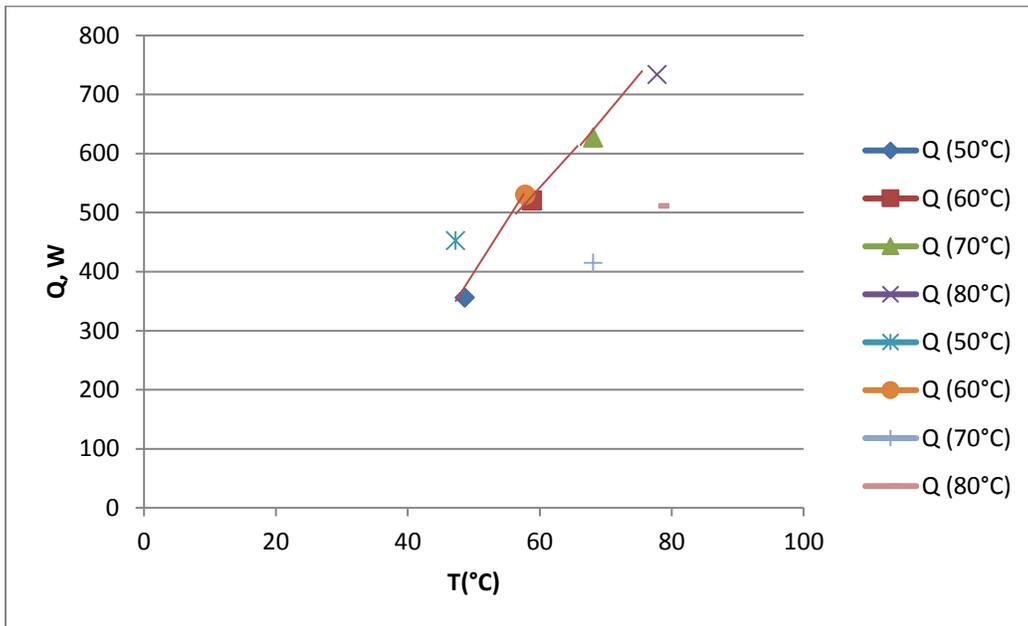
**Tabla 1-2.** Resultados pruebas experimentales intercambiador de calor de flujo cruzado sin guarda metálica en ventilador.

- El  $c_p$  del agua se encuentra en el libro de transferencia de calor de YUNUS A. ÇENGEL
- Las velocidades del ventilador se obtienen con el anemómetro



**Grafica 1-2.** Set point vs transferencia de calor  $\dot{Q}$  (Velocidad ventilador de  $0,3,6 \frac{m}{s}$ ) sin guarda.

En la Grafica 1-2. Se puede apreciar que la tasa de transferencia de calor empieza aumentar en el set point entre 50°C, 60°C y 70°C, pero en el set point de 80°C se aprecia que comienza a descender después de superar los 4 m/s



**Grafica 1-3.** Set point vs transferencia de calor  $\dot{Q}$  (Velocidad de ventilador en reversa  $2 \frac{m}{s}$ ) sin guarda (línea) y con guarda (puntos dispersos)

En la Grafica 1-3. Observamos que donde está la recta de la línea roja es la Q del ventilador sin guarda; se puede concluir que la tasa de transferencia de calor es lineal en forma ascendente y el ventilador con guarda varía en forma aleatoria la tasa de transferencia de calor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 4.3 Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección interna a 80 °C en el intercambiador de calor

$h$  es el coeficiente de convección, donde  $k$  es conductividad térmica,  $Nu$  número de Nusselt y  $D$  el diámetro de la tubería

$$h = \frac{kNu}{D}$$

En la ecuación observamos que tenemos que hallar el número de Nusselt, para esto se debe utilizar la ecuación de Reynolds y si el número da  $\geq 10000$  se puede utilizar la ecuación de número de nusselt para flujo turbulento interno:

$$Nu = 0.023Re^{0.8} \cdot Pr^n$$

$Re$  = Numero de Reynolds

$Pr$  = Numero de prandtl

$n = 0.3$  (Enfriamiento del fluido)

Ecuación de Reynolds

$$Re = \frac{Vel \times D \times \rho}{\mu}$$

Donde:

$Vel$  = Velocidad promedio

$D$  = diámetro interno de la tubería

$P$  = densidad del agua a 80°C

$\mu$  = viscosidad dinámica

Pasos para hallar el número de Reynolds,

- 1) Calculamos el flujo volumétrico

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho_{agua\ 80^\circ C}} = \frac{0.02304 \frac{kg}{s}}{971.8 \frac{kg}{m^3}} = 0.000023708 \frac{m^3}{s}$$

- 2) Hallamos el diámetro interno

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$D = \frac{3}{8} \text{ in} \times \frac{8.25 \text{ mm}}{1 \text{ in}} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 0.008525 \text{ m}$$

3) Reemplazamos  $\dot{V}$  en la velocidad promedio

$$Vel = \frac{\dot{V}}{Ac} = \frac{0.000023708 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \times \left(\frac{0.008525 \text{ m}}{2}\right)^2} = 0.4153 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4) Reemplazamos  $Vel$  en la ecuación de Reynolds

$$Re = \frac{Vel \times D \times \rho}{\mu} = \frac{0.4153 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.008525 \text{ m} \times 971.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.355 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{s}}} = 9691.8 \cong \text{turbulento}$$

Teniendo en cuenta que el número de Reynolds es turbulento, utilizamos la ecuación para hallar el número de nusselt

$$Nu = 0.023(9691)^{0.8}(2.22)^{0.3} = 45.15$$

- $k_{80^\circ\text{C}} = 0.67 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$  este valor se encuentra en el libro de transferencia de calor de Yunus A. Cengel

$$h_{\text{interno}} = \frac{kNu}{D} = \frac{0.67 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \times 45.15}{0.008525 \text{ m}} = 3548.4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### CONCLUSIONES

- En este trabajo se pudo construir un banco experimental para observar mediante indicadores de temperatura y sistema de control, el cambio de temperatura del agua al pasar por el intercambiador de calor de flujo cruzado.
- Se pudo observar la tasa de transferencia de calor a diferentes sets point de temperatura y velocidades del ventilador. Se pudo observar que a más bajo set point con guarda metálica, y a la máxima velocidad del ventilador empujando el aire hacia el intercambiador de calor ocurría mayor tasa de transferencia de calor.
- Se pudo concluir que, en este intercambiador de calor, cuando se hace la prueba sin guarda y ventilador en reversa, la tasa de transferencia de calor aumenta linealmente.
- La guarda metálica tiene un efecto importante en la tasa de transferencia de calor cuando el ventilador está trabajando empujando el aire hacia el intercambiador de calor que mostro la mayor transferencia de calor. Cuando esta sin la guarda metálica tiene menor tasa de transferencia de calor.
- Existe una pérdida de calor de más o menos 2°C desde el tanque principal de calentamiento, hasta el sensor de entrada del intercambiador de calor.
- La velocidad del aire que produce el ventilador depende del lugar donde se mida en el intercambiador, por lo cual se saca un valor promedio.
- A partir de los datos experimentales se pudo encontrar el  $h_{interno}$  de la tubería del intercambiador de calor, a partir del número de nusselt experimental reportado en la literatura.
- La velocidad del aire afecta la convección externa, pero esta no se calculó en este trabajo porque la diferencia de temperatura de salida y de entrada del aire del intercambiador de calor es muy pequeña.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECOMENDACIONES

Se recomienda leer la guía y atender todas las recomendaciones antes de realizar cualquier prueba con el intercambiador de calor de flujo cruzado.

## TRABAJO FUTURO

- Utilizar otro fluido diferente al agua con mayor conductividad térmica.
- Encontrar el  $h_{externo}$  de la tubería, ya que requiere de mayor cantidad de datos aún desconocidos.
- Cambiar el intercambiador de flujo cruzado por otro material y otra geometría, observando como varia la tasa de transferencia de calor.
- Regular el caudal de la bomba atreves de un variador digital.
- Indicar la velocidad del motor en RPM.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- Çengel, Y.A. (2011). Transferencia de calor y masa, 4ta edición: McGraw-Hill.
- Çengel, Yunus, Michael A. Boles (2008). Termodinámica, 5ta edición: McGraw-Hill.
- Ivo Krásný, Ilya Astrouski, Miroslav Raudenský (2016). *“Polymeric hollow fiber heat exchanger as an automotive radiator”*. Applied Thermal Engineering. Volumen 108, pág. 798-803. Elsevier.
- Guilherme Azevedo Oliveira, Edwin Martin Cardenas Contreras, Enio Pedone Bandarra Filho (2017). *“Experimental study on the heat transfer of WCNT/water nanofluid flowing in a car radiator”*. Applied Thermal Engineering, Volumen 111, pág. 1450-1456. Elsevier.
- Haiwang Lic, Haoran Huang, Guoqiang Xu, Jie Wen, Hongwei Wu (2017). *“Performance analysis of a novel compact air-air heat exchanger for aircraft gas turbine engine using LMTD method”*. Applied Thermal Engineering. Volumen 116, pág. 445-455. Elsevier.
- Anishek, Sony R, Jayadeep Kumar J, Pradeep M Kamath, (2016). *“Performance Analysis and Optimization of an Oil Natural Air Natural Power Transformer Radiator”*. Procedia Technology. Volumen 24, pág. 428-435. Elsevier.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# APÉNDICE

## Apéndice A – Guía didáctica intercambiador de calor

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA GUÍA

<b>Nombre de la guía:</b>	Banco de pruebas intercambiador de flujo cruzado
<b>Código de la guía (No.):</b>	<i>TC-001</i>
<b>Taller(es) o Laboratorio(s) aplicable(s):</b>	Laboratorio de fluidos
<b>Tiempo de trabajo práctico estimado:</b>	2 Horas
<b>Asignatura(s) aplicable(s):</b>	Transferencia de calor y termodinámica
<b>Programa(s) Académico(s) / Facultad(es):</b>	Ingeniería Electromecánica

COMPETENCIAS	CONTENIDO TEMÁTICO	INDICADOR DE LOGRO
Realizar medición de temperatura de entrada y salida del intercambiador de calor, además de medición de velocidad del aire a partir de la variación de las revoluciones del ventilador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculo del cambio de temperatura de un intercambiador de calor</li> <li>• Calculo de la tasa de transferencia de calor del intercambiador de calor</li> <li>• Medición de la velocidad del aire a distintas revoluciones del ventilador</li> <li>• Calculo del calor específico (<math>c_p</math>) del agua a diferentes temperaturas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcula la tasa de transferencia de calor del intercambiador de calor</li> <li>• Realiza curvas características de transferencia de calor con diferentes velocidades del ventilador a varios sentidos de flujo de aire</li> </ul>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Los intercambiadores de calor son aparatos que facilitan el *intercambio de calor* entre *dos fluidos* que se encuentran a temperaturas diferentes. Los más comunes se llaman recuperadores, que son intercambiadores donde los dos fluidos no se mezclan entre sí. En la práctica, los intercambiadores de calor son de uso común en una amplia variedad de aplicaciones, desde los sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento del aire hasta los procesos químicos y la producción de energía en las plantas grandes.

### 2.1 Balance de energía en intercambiadores de calor

En la práctica un ingeniero se encuentra a menudo en la posición de seleccionar un intercambiador de calor que logre un cambio de temperatura específica de una corriente de fluido de flujo de masa conocido, o bien, de predecir las temperaturas de salida de las corrientes de fluido caliente y del frío en un intercambiador de calor específico.

Los intercambiadores de calor suelen operar durante largos periodo de tiempo sin cambios en sus condiciones de operación. Por lo tanto, se pueden considerar como aparatos de flujo estacionario. Un gran número de aparatos de ingeniería, como los calentadores de agua y los radiadores de los automóviles, implican flujo de masa, hacia adentro y hacia afuera de un sistema y se le consideran como volúmenes de control. La mayor parte de los volúmenes de control se analizan en condiciones estacionarias de operación. El término estacionario significa ningún cambio con el tiempo en una ubicación específica.

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal de un aparato de flujo, por unidad de tiempo, se llama gasto de masa o flujo másico y se denota por  $\dot{m}$ . Un fluido puede fluir hacia adentro o hacia afuera de un volumen de control a través de tubos o ductos. El gasto de masa de un fluido que fluye en un tubo o ducto es proporcional al área de la sección transversal  $A_c$ , de ese tubo o ducto, la densidad  $\rho$  y la velocidad promedio del fluido  $V$ .

$$\dot{m} = \rho V A_c = \rho \dot{V}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Donde  $\dot{V}$  es el volumen de un fluido que fluye por un tubo o ducto por unidad de tiempo, llamado gasto volumétrico o caudal volumétrico. Para un sistema de flujo estacionario con una entrada y una salida, la velocidad del flujo de masa hacia adentro del volumen de control debe ser igual a la velocidad de flujo de masa hacia afuera de él, es decir,  $\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sal} = \dot{m}$ . Cuando los cambios en la energía cinética y potenciales son despreciables, que es el caso más común, y no se tiene interacción de trabajo, el balance de energía para tal sistema de flujo estacionario se reduce a la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$$

En condiciones estacionarias, la velocidad neta de transferencia de energía hacia un fluido en un volumen de control es igual a la velocidad de incremento en la energía de la corriente de fluido que fluye a través de ese volumen, Figura 1:

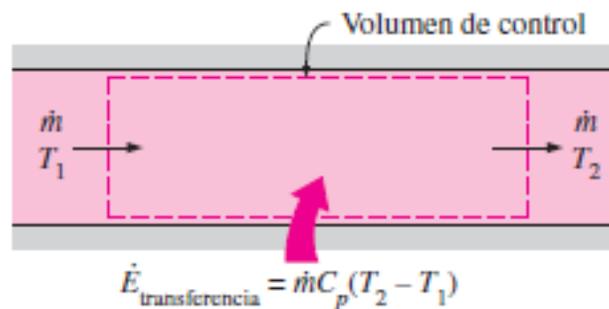


Figura 1. Condiciones estacionarias de flujo en un volumen de control. Tomado de: Çengel, Y.A. (2011). Transferencia de calor y masa, 4ta edición: McGraw-Hill

Las idealizaciones que acaban de describirse se logran muy aproximadamente en la práctica y simplifican mucho el análisis de un intercambiador de calor con poco sacrificio en la exactitud. Por lo tanto, son de uso común. Con estas suposiciones la primera ley de la termodinámica requiere

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que la velocidad de la transferencia de calor desde el fluido caliente (subíndice h) sea igual a la transferencia de calor hacia el frío (subíndice c):

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_{ph} (T_{h,ent} - T_{h,sal})$$

Donde el subíndice h se refiere al fluido caliente respectivamente,

$\dot{m}$ : gasto de masa

$c_{ph}$ : calores específicos

$T_{h,sal}$ : Temperatura de salida

$T_{h,ent}$ : Temperatura de salida

En la figura 2 observamos que dos flujos de fluidos que tienen las mismas razones de capacidad calorífica C (donde  $C = \dot{m}c_p$ ) experimentan el mismo cambio de temperatura en un intercambiador.

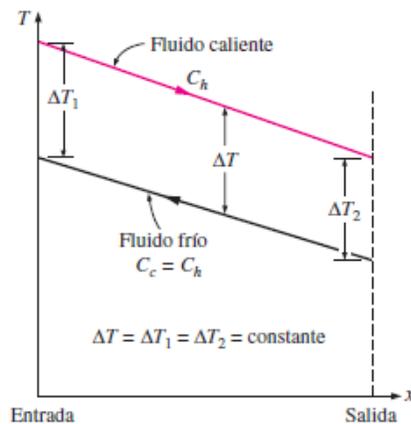


Figura 2. Temperatura vs distancia en un intercambiador de calor de flujo cruzado, Tomado de: Çengel, Y.A. (2011). Transferencia de calor y masa, 4ta edición: McGraw-Hill

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Acrónimos

$\dot{Q}$	Tasa de transferencia de calor, kW
$\dot{m}$	Flujo másico, kg/s
$c_p$	Calor específico a presión constante, kJ/(kg .°C)
T	Temperatura, °C
v	Velocidad del aire, m/s
Vol	Volumen, l
$\rho$	Densidad, kg/m <sup>3</sup>
$\dot{V}$	Caudal de agua, m <sup>3</sup> /s

### 3. OBJETIVO

- Hallar la tasa de transferencia del intercambiador de calor, al variar la velocidad del aire y la temperatura del tanque

### 4. RECURSOS REQUERIDOS

- Conexión hídrica
- Conexión eléctrica 110 – 120 VAC
- Balde para desaguar el tanque secundario

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO

### 5.1 instrucciones para el manejo del banco de pruebas intercambiador de calor

- **Paso 1:** Conexión a la toma eléctrica 110 – 120 VAC (Fig.3) y conexión a la red hídrica a través de manguera (Fig.3)

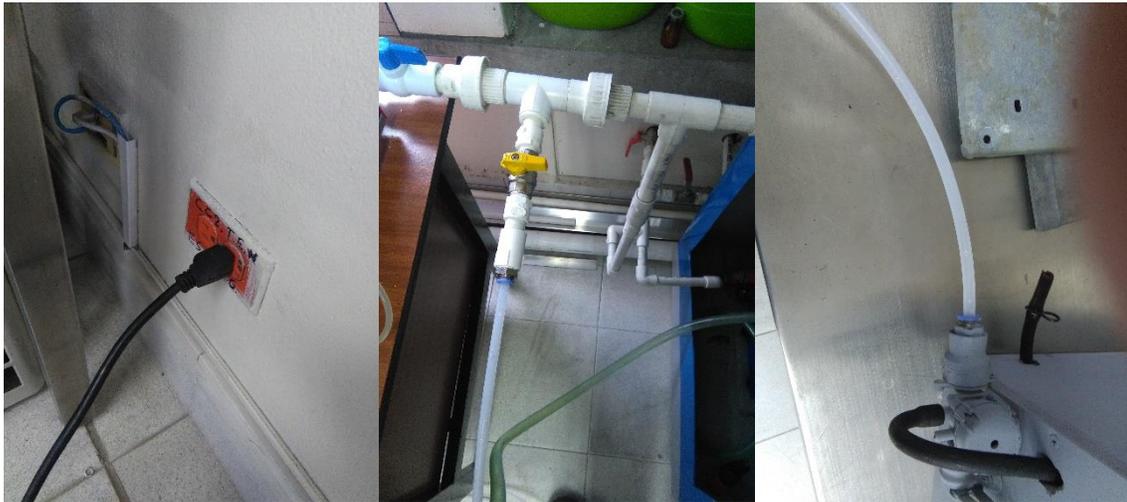


Fig. 3 Conexión toma eléctrico (izquierda). Conexión al sistema hídrico (centro y derecha)

- **Paso 2:** Se insertan las 2 pilas de 1.5 VDC para cada indicador de temperatura (Fig.4)



Fig.4 Detalle de ubicación de pilas en cada indicador

**Paso 4:** Se verifica que todos los switches de la bomba y control de temperatura estén en OFF, y se enciende el switch de sistema principal (Fig.5). Automáticamente se enciende el led TANQUE VACIO.



Fig.5 Aspecto de led rojo tanque vacío en panel de control

- **Paso 5:** Cuando el led Rojo se apague y encienda el led azul de “tanque lleno”, se puede encender el controlador de temperatura a través del switch (Fig.6)



Fig.6 Vista de control de temperatura activado

- **Paso 6:** Para variar el rango de temperatura deseado, primero se pulsa el botón SET (letra “S”), luego con las flechas aumenta o disminuye la temperatura, y luego cuando obtenga el valor deseado en el led no se oprime nada y pasado tres segundos guarda automáticamente la configuración.
- **Paso 7:** Cuando el indicador muestre la temperatura alcanzada se debe activar el ventilador, para el sentido que se requiera derecho o izquierdo (Fig 7).



Fig.7 Aspecto del switch codo. Este cambia sentido de giro del ventilador.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Paso 8:** Luego se mide la velocidad del aire con el anemómetro con el sentido giro derecha (Fig.8) o sentido de giro izquierdo (Fig.9)

El anemómetro se encuentra ubicado al lado del intercambiador, se enciende dejando el botón MODE presionado tres segundos y se apaga dejando presionado el botón MODE y luego SET.



Fig. 9 Sentido giro derecha



Fig.10 Sentido giro izquierda

Nota: El sentido de giro que se puede variar la velocidad es el derecho, el sentido de giro izquierdo muestra el 100% de la velocidad.

- **Paso 9:** Se coloca un balde en la salida del desagüe del tanque secundario.
- **Paso 10:** Se enciende la bomba del switch ON/OFF, Fig.11



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fig. 11 Aspecto del switch para encender la bomba

- **Paso 11:** Se visualiza los valores que indican en la temperatura de entrada y de salida del intercambiador. Cuando el Led “tanque vacío” se encienda se debe apagar la bomba, Fig. 12 y tomar el dato final de los cambios de temperatura.



Fig.12 indicador rojo, termina toma de datos

Se repite el proceso las veces que sea necesario, ya sea variando la temperatura o la velocidad del aire.

## 5.2 Recomendaciones de seguridad

- No desconecte la manguera del agua cuando se tenga el equipo encendido y/o cuando la válvula de agua de la red este abierta.
- No desconecte el equipo de la alimentación eléctrica cuando el equipo este encendido.
- No introduzca objetos, accesorios o parte del cuerpo en el intercambiador de calor cuando esté funcionando, apagado, con o sin guarda, en ningún momento se puede hacer esto.
- No encienda el control de temperatura cuando el led de tanque vacío este encendido ya que puede quemar o poner en corto la resistencia sumergida en el tanque, solo se debe encender cuando el led tanque lleno este encendido.
- No se debe destapar la caja cuando el equipo este encendido.
- Se debe vaciar el agua del tanque principal y del secundario siempre que se termine las pruebas.



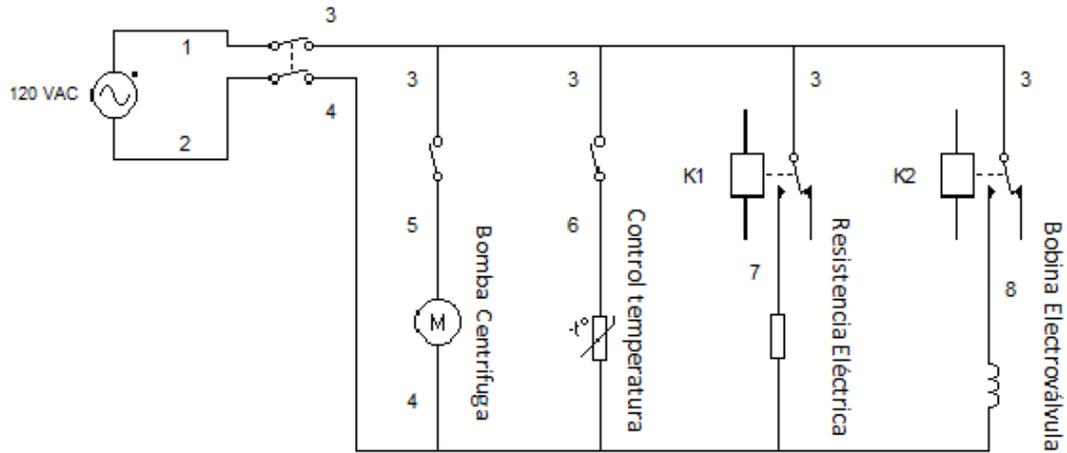


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<b>Elaborado por:</b>	<i>Johnatan Steven Florez García</i>
<b>Revisado por:</b>	<i>Vladimir Imbol (Persona designada por el Comité de Laboratorios)</i>
<b>Versión:</b>	<i>01</i>
<b>Fecha:</b>	<i>21/04/2017</i>

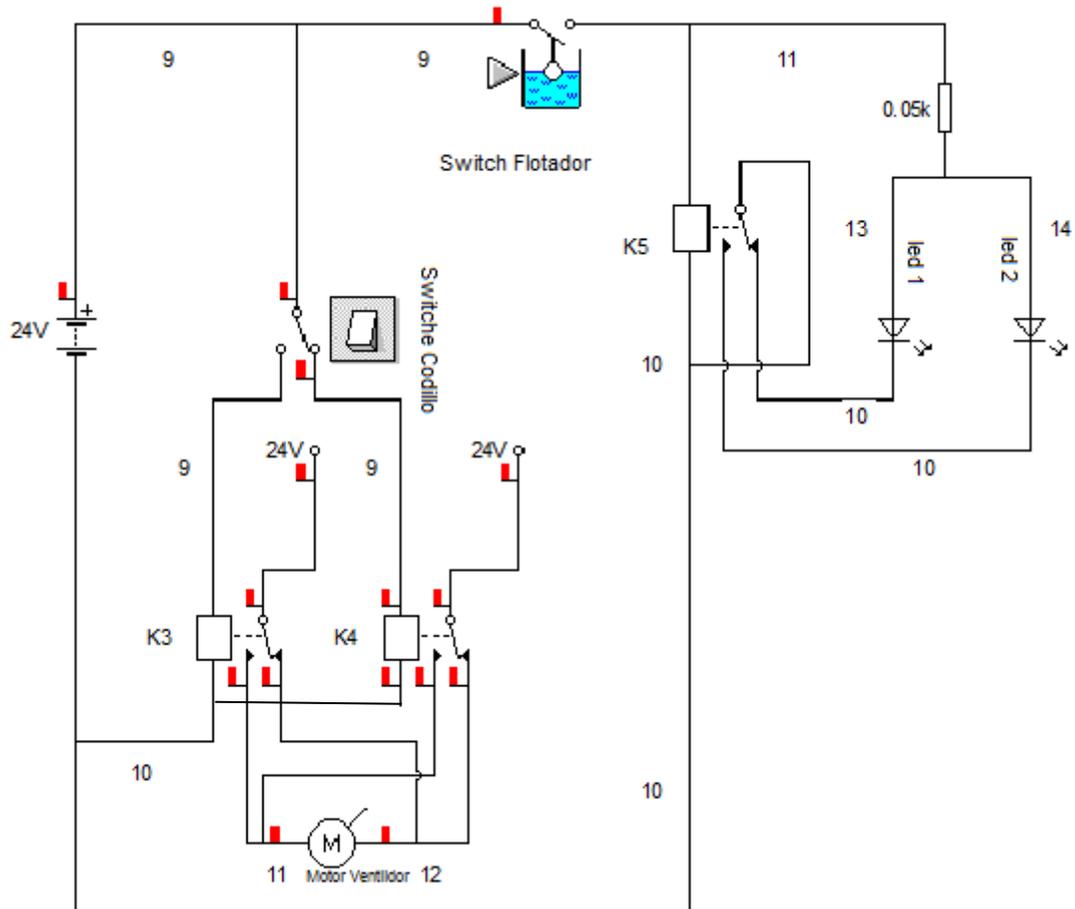
## Apéndice B – Diagrama eléctrico banco experimental intercambiador de calor

Plano eléctrico intercambiador de calor de flujo cruzado



Numero	Conexión
1	120 VAC - Línea
2	120 VAC - Neutro
3	120 VAC - Línea (Switche)
4	120 VAC - Neutro (Switche)
5	Bomba Centrífuga
6	Control De temperatura
7	Resistencia Electrica tanque
8	Electroválvula Entrada De Agua

Letra	Dispositivo salida	Dispositivo control
K1	Resistencia Tanque	Control De Temperatura
K2	Electroválvula Entrada Agua	Switche Flotador



Numero	Conexión
9	24 VDC (+)
10	0 VDC
11	Motor ventilador (+)(-)
12	Motor ventilador (-)(+)
13	indicador led rojo
14	indicador led azul

Letra	Dispositivo salida	Dispositivo Que controla
K3	Motor Ventilador	pulsador Codillo
K4	Motor Ventilador	pulsador Codillo
K5	LED (tanque lleno-vacio)	Switche Flotador

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Johnatan Steven Florez Garcia

FIRMA ASESOR [Signature]

ENTREGA INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO  
 VERSION DEFINITIVA CON CORRECCIONES 5:00 PM  
 FECHA ENTREGA: 2 MAYO 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_      ACEPTADO \_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_