

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

DISEÑO DE BANCO EXPERIMENTAL PARA EVALUACIÓN DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBO TORSIONADO.

Edier Antonio Marin Galeano C.C. 1128398108

Aldayr Perez Hawasly C.C. 1128453200

Ingeniería Electromecánica

Asesor del proyecto:

Juan Gonzalo Ardila Marín

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue diseñar el banco experimental para evaluar intercambiadores de calor de tubo torsionado, en la segunda fase del proyecto de investigación P13134, llamado “Desarrollo de correlaciones de transferencia de calor y caída de presión en intercambiadores de calor de tubo torsionado – etapa II: Validación de correlaciones desarrolladas numéricamente”. Dicho banco experimental está siendo instalado actualmente en el Laboratorio de Fluidos del ITM ubicado en la sede Robledo en el G404 en el banco automatizado para el estudio de la mecánica de fluidos. Para cumplir dicho objetivo se inició por identificar las necesidades que se deben suplir al diseñar el banco experimental, luego se investigó cómo son los bancos experimentales que se emplean en la prueba de intercambiadores de calor, para poder definir las especificaciones de desempeño del banco, y analizar soluciones de diseños disponibles o factibles para el banco experimental deseado; posteriormente se procedió a seleccionar la mejor solución de diseño para el banco experimental deseado, a crear un modelo completo del banco experimental, y a documentar las memorias de cálculo e implementación del mismo. Ya finalizado el proyecto de diseño que había sido propuesto se dio inicio a su implementación de los cual se presentan evidencias como resultado final.

Palabras clave: Intercambiador de calor, Banco experimental, Tubo curvado, Tubo torsionado.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ESTADO DEL ARTE	8
3. METODOLOGÍA.....	21
4. RESULTADOS	26
4.1. Visita Investigador y Estado del Arte.....	26
4.2. Componentes Básicos y Cotización	26
4.2.1. Componentes Básicos	26
4.2.2. Medidores de Flujo	27
4.2.3. Medidores de Temperatura	29
4.2.4. Medidores de Presión	29
4.2.5. Válvulas	30
4.2.6. Tuberías.....	30
4.2.7. Acoples	31
4.2.8. Intercambiador de calor.....	31
4.2.9. Estructura (Repisa)	32
4.2.10. Tanques	33
4.2.11. Bomba hidráulica.....	33
4.2.12. Contactores, Tablero Eléctrico y Soporte de Componentes	35
4.2.13. Medidores de nivel.....	35
4.3. Modelación Componentes, Configuración y Montaje del Banco Experimental 3D.....	36
4.4. Montaje de Fluido Frio para intercambiador de Calor.....	41
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	47
REFERENCIAS	50

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1. INTRODUCCIÓN

La energía es un recurso natural limitado cuya generación en forma de calor tiene unos costos económicos y unos impactos ambientales de cierta envergadura, por lo que avanzar en su uso responsable contribuye al bienestar de todos. En este sentido, los gerentes de plantas industriales y de empresas terciarias, y en general, los responsables de procesos o servicios que implique la calefacción de agua, como profesionales encargados de la gestión y de la operación de los activos físicos y del buen funcionamiento de sus instalaciones, las empresas de mantenimiento, y el conjunto de usuarios, cada uno desde su ámbito profesional o de responsabilidad, constituyen agentes fundamentales en la estrategia colectiva de impulsar un uso más eficiente de la energía (García San José, 2008). La empresa local “E.S. Energía Solar Ltda.” cuenta con 30 años de experiencia ofreciendo sus servicios en proyectos de calentamiento de agua, climatización de piscinas, secado, bombas de calor y pisos radiantes. Sus propietarios se han interesado en el desarrollo de intercambiadores de calor de tubo espiral, fabricados mediante procesos de conformado por deformación plástica de metales y ensamble permanente por medio de unión soldada aplicados a tubos flexibles de cobre de ½” comerciales. “Energía Solar” se encuentra desde 2007 en el desarrollo de un dispositivo intercambiador de calor que permita calentar agua para un régimen de consumo residencial aprovechando las ventajas combinadas de su aplicación tradicional de intercambiadores de calor de tubo espiral, y por otro lado, de una adquisición tecnológica en el campo de colectores solares y aprovechamiento de radiación solar: tubos de vacío. La Figura 1 esquematiza el modelo realizado por el Ing. Juan Gonzalo Ardila Marín (Investigador Principal del proyecto en el cual se enmarca este trabajo de grado, y Director del mismo) para el análisis del sistema en estudio, dicho modelo no fue validado. Ahora están interesados en la aplicación de un producto innovador: intercambiador de calor de

tubo de titanio torsionado y en hélice para la climatización de piscinas usando bomba de calor con refrigerante R-134a. La Figura 2 ilustra el dispositivo de interés.

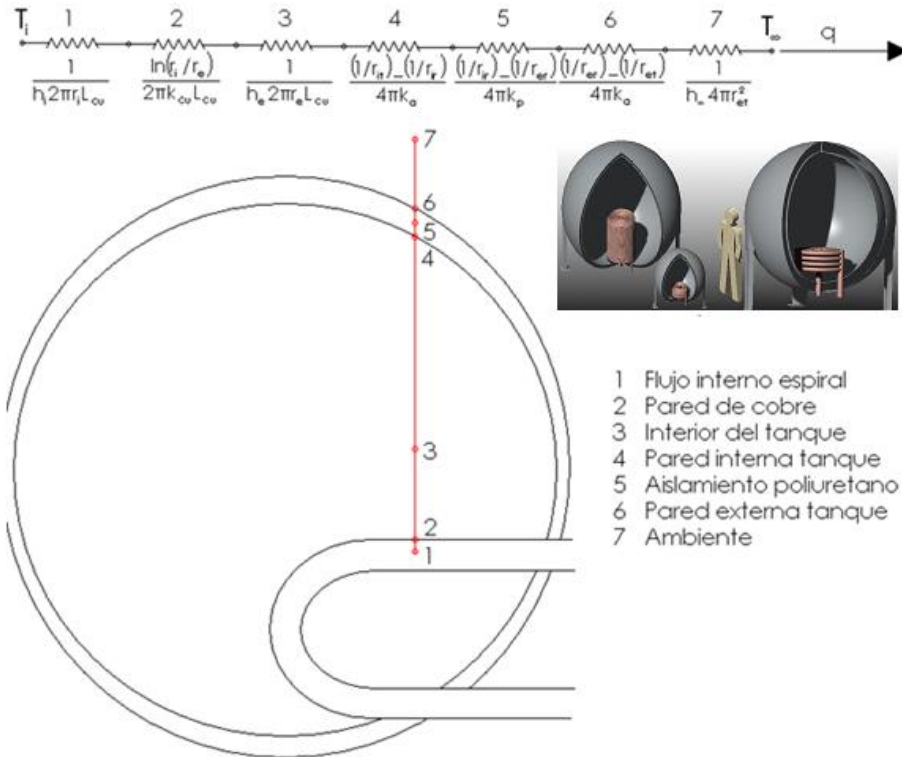


Figura 1. Esquema del modelo calentador de agua para consumo residencial. Aportado por el Director del Trabajo de Grado.

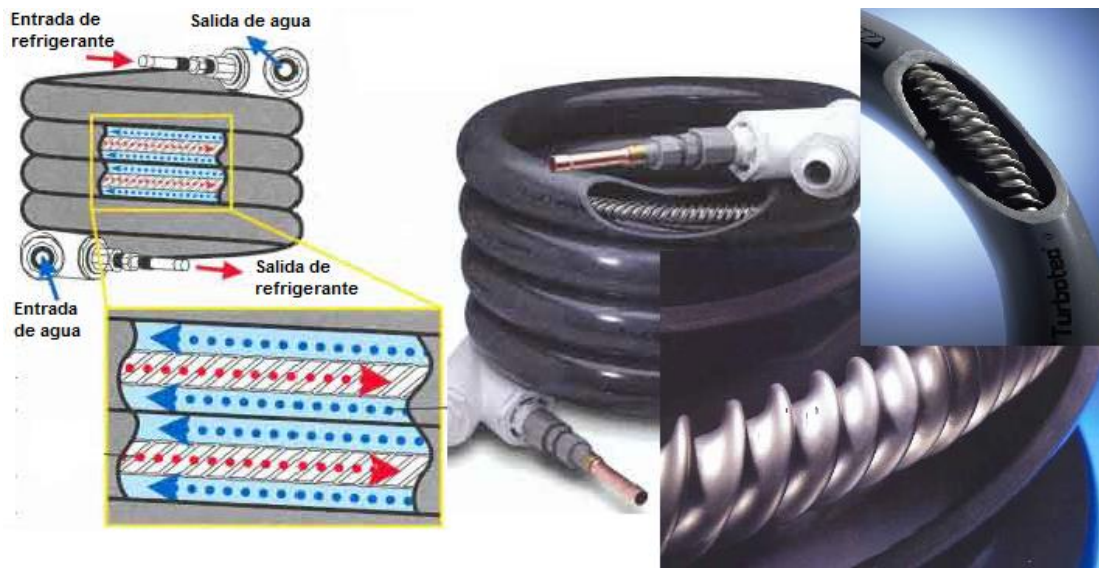


Figura 2. Intercambiador de tubo de titanio torsionado y en hélice. Adaptado de (Turbotec Products, Inc. , 2010)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Por lo anterior, en 2011 se dio inicio al proyecto de desarrollar correlaciones de transferencia de calor y caída de presión en intercambiadores de calor de tubo torsionado en espiral y hélice. Dichas correlaciones serían determinadas teóricamente mediante el desarrollo de un código computacional con el software de CAE: ANSYS® Fluent. Posteriormente, en 2013, se dio inicio al proyecto de validar dichas correlaciones experimentalmente mediante el desarrollo de un banco de prueba que simule un circuito funcional realístico. En este proyecto es necesario proyectar un banco experimental que permita medir y controlar las variables que determinan la transferencia de calor y la caída de presión en intercambiadores de calor de tubo torsionado helicoidal, está es una fase fundamental para el desarrollo experimental de correlaciones.

Así que aunque Andrés Zachár en 2010 aborda el problema de incrementar aún más la transferencia de calor en tubos en hélice con técnicas pasivas como el torsionado o el tallado de hélices alrededor del tubo, lo hace de forma teórica y propone correlaciones numéricas, siendo este estudio lo más cercano a tubos torsionados disponible en la literatura actual (Zachár, 2010). La evaluación del estado del arte, discutida en el siguiente apartado, muestra la intensidad del trabajo investigativo, tanto numérico como experimental, alrededor de mejoras pasivas como el curvado de tubos, pero no se encuentra ni un solo estudio experimental sobre tubos con doble mejora (curvado y torsionado). Las correlaciones numéricas deben ser evaluadas en dispositivos experimentales similares a las aplicaciones reales que tendrán los intercambiadores de calor, para esto es necesario desarrollar correlaciones empíricas que validen los modelos numéricos y sirvan como herramientas para facilitar el diseño de aplicaciones de los intercambiadores e incentivar su fabricación, comercialización y uso en la industria local.

Por lo anterior, el presente proyecto se enfocara en diseñar el banco experimental para evaluar intercambiadores de calor de tubo torsionado, para lo cual se inició por identificar las necesidades que se deben suplir al diseñar el banco experimental, luego se investigó

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

cómo son los bancos experimentales que se emplean en la prueba de intercambiadores de calor, para poder definir las especificaciones de desempeño del banco, y analizar soluciones de diseños disponibles o factibles para el banco experimental deseado; posteriormente se procedió a seleccionar la mejor solución de diseño para el banco experimental deseado, a crear un modelo completo del banco experimental, y por último, a documentar las memorias de cálculo e implementación del mismo.

En el primer capítulo se presentará el resultado de la revisión del estado del arte, donde podrá apreciarse los diferentes experimentos y bancos experimentales que han sido desarrollados para obtener correlaciones que caracterizan diferentes tipos de intercambiadores mejorados, evidenciando la falta de resultados sobre geometrías como la del presente estudio. El capítulo 3 define de manera detallada la metodología que se aplicó para el diseño del banco. En el capítulo 4, titulado Resultados, se presenta el informe que describe el diseño, además se discuten los pormenores que se presentaron durante el mismo, llegando a las conclusiones más relevantes y algunas recomendaciones de trabajo futuro en el último capítulo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2. ESTADO DEL ARTE

Vimal Kumar, y otros, estudiaron la caída de presión y la transferencia de calor en intercambiadores de calor de tubos helicoidales concéntricos, su propósito fue determinar experimentalmente las variaciones hidrodinámicas y de transferencia de calor con caudales totalmente desarrollados para los tubos interior y exterior del intercambiador de calor. Se realizaron experimentos en condiciones de estado estacionario con agua como fluido de trabajo al interior y exterior. El caudal interno fue variado en un rango de 140 – 240 L/h para un caudal constante del lado externo. Fueron utilizados tres niveles del flujo externo: 1800, 2000, y 2500 L/h. Se registraron mediciones de temperatura desde los 300s cada diez segundos con fluctuaciones en la lectura de la temperatura de $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$. Aunque los termopares tipo T tenían límites de error de $0,5^{\circ}\text{C}$, cuando se utilizan en agua común en estado estacionario las lecturas estuvieron dentro de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Todos los termopares fueron contruidos del mismo rollo de alambre, y por lo tanto la capacidad de repetición de las lecturas de temperatura era alta. Igualmente para el estudio de transferencia de calor en el tubo externo, el caudal interno fue mantenido constante en 240 L/h y la variación del caudal fue hecha en el anillo. En la entrada del tubo externo la temperatura del agua de enfriamiento fue de $26-28^{\circ}\text{C}$, y aumentaba de $4 - 5^{\circ}\text{C}$ a la salida. Durante los experimentos la temperatura ambiente era $27 - 28^{\circ}\text{C}$, por lo tanto, no había mucha pérdida de calor de la pared externa (Kumar, Saini, Sharma, & Nigam, 2006).

H. Shokouhmand, M. R. Salimpour, y otros, investigaron experimentalmente los intercambiadores de calor de coraza y tubo en espiral. El rango de operación de los parámetros se estableció entre $0.016 - 0.113 \text{ kg/s}$ para el flujo de agua al interior del tubo, $0.019 - 0.136 \text{ kg/s}$ para el flujo de agua a través de la coraza, $33.4 - 53.2^{\circ}\text{C}$ a la entrada del tubo, y $10.9 - 19.2^{\circ}\text{C}$ a la entrada de la coraza, se verificaron temperaturas de salida de $23.5 - 44.9^{\circ}\text{C}$ del tubo, y $14.6 - 37.3^{\circ}\text{C}$ de la coraza. Como se puede verse hubo un extenso rango

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

de caudales y se configuraron para flujo paralelo y para contra flujo. Las pruebas fueron realizadas para tres intercambiadores de calor de tubo en espiral con un total de 150 ejecuciones (Shokouhmand, Salimpour, & Akhavan-Behabadi, 2008).

J.S. Jayakumar, y otros, estimaron la transferencia de calor, numérica y experimentalmente, de intercambiadores de calor de tubo en bobina helicoidal. Tomaron las medidas solamente después de que las temperaturas lograrán valores constantes. Se realizaron experimentos para cinco diferentes caudales a través de la bobina y para tres diferentes valores de temperatura en la entrada. Durante el transcurso de cada conjunto de experimentos, la tasa de flujo a través de la carcasa se mantuvo constante, garantizando un coeficiente de transferencia de calor constante en la parte exterior. Una vez que se logró un estado estacionario, se observaron los valores de índices de corriente de los líquidos, las temperaturas en la entrada y la salida de ambos fluidos, y la entrada de energía al calentador y a la bomba (Jayakumar, Mahajani, Mandal, Vijayan, & Bhoi, 2008).

N. Ghorbani, y otros, estudiaron experimentalmente la transferencia de calor por convección en intercambiadores de calor de tubo helicoidal en posición vertical, las Figuras 3 y 4 muestran el aparato utilizado para los experimentos con el intercambiador de calor. Se utilizó agua como fluido de trabajo, pasando a través de seis calentadores eléctricos antes de entrar al tubo. Una válvula se instaló en la entrada del intercambiador de calor para controlar la tasa de flujo y el agua fría se tomó de la red urbana para circular por la coraza. La tasa de flujo fue medida mediante el uso de un cilindro de medición calibrado y un cronometro posicionado en la salida del intercambiador de calor. La temperatura del agua de la entrada del tubo fue controlada por un termostato. Se evaluaron cuatro temperaturas: 50, 60, 70 and 80°C, la temperatura de entrada de la coraza fue la temperatura del agua del grifo. Estas temperaturas pretenden simular la temperatura de salida de un colector solar de placa plana. La tasa de flujo másico tanto para la coraza como para el tubo fue 0.03, 0.05, 0.09, y 0.113 kg/s. Las especificaciones del intercambiador de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

calor se muestran en la Tabla 1. La bobina fue formada cuidadosamente usando tubo recto de cobre OD de 9.52 y 12.5 mm. Se tuvo cuidado para localizar la bobina en el centro del espacio circular entre la parte interior y exterior de la coraza. Las temperaturas fueron medidas utilizando cuatro termopares tipo K localizados a igual distancia con el fin de medir la superficie del tubo y la temperatura del fluido. Otros cuatro termopares fueron localizados en las entradas y salidas del intercambiador de calor para medir las temperaturas de los fluidos. Un dispositivo de adquisición de datos hecho por Advantech modelo USB 4718 que tiene una capacidad para ocho canales de entradas analógicas en conexión con un PC fue usado para registrar todas las temperaturas medidas. Todas las pruebas fueron realizadas bajo condiciones de estado estacionario. Un código de Visual Basic fue creado para recuperar y almacenar los datos de temperatura y desarrollar los cálculos. Los valores fueron medidos aproximadamente en un periodo de 4 minutos (Ghorbani, Taherian, Gorji, & Mirgolbabaeei, 2010).

Tabla 1. Características geométricas del intercambiador de calor estudiado por N. Ghorbani. Adaptado de (Ghorbani, Taherian, Gorji, & Mirgolbabaeei, 2010)

No.	$D_{t,o}$ (mm)	$D_{t,i}$ (mm)	D_c (mm)	$D_{s,i}$ (mm)	$D_{s,o}$ (mm)	H (mm)	p (mm)	N
1	9.47	7.77	125.71	88.9	157	383	16.47	23.25
2	12.59	10.82	128.31	88.9	157	383	16.47	23.25
3	12.59	10.82	128.31	88.9	157	383	23.57	16.25

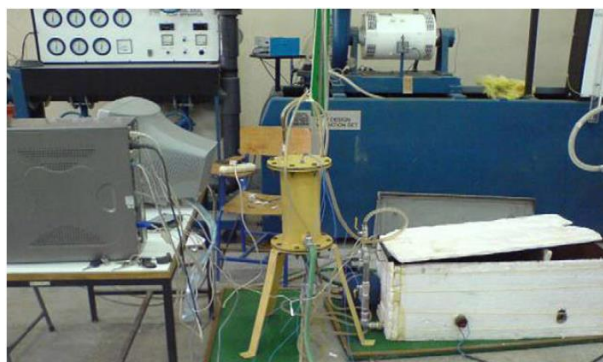


Figura 3 Banco experimental. Tomado de (Ghorbani, Taherian, Gorji, & Mirgolbabaeei, 2010)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

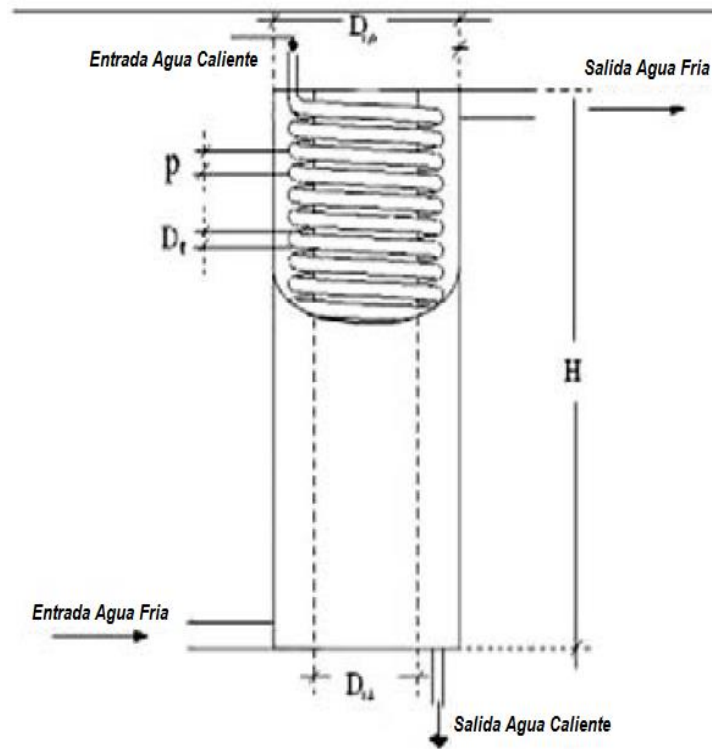


Figura 4 Diagrama esquemático del intercambiador de calor. Adaptado de (Ghorbani, Taherian, Gorji, & Mirgolbabaei, 2010)

Conté & Peng, investigaron numérica y experimentalmente el rendimiento de la transferencia de calor de intercambiadores de bobina rectangular, la Figura 5 muestra un esquema del montaje experimental compuesto principalmente por una bomba, un depósito y un ducto de agua, que se empleó como fluido de trabajo. El circuito cerrado de agua fue hecho en acrílico transparente resistente a la abrasión para facilitar la visualización. La bomba es conducida por un motor de 245W, 2.35A, 230V, 6 μ F y 1320rpm. Las características del calentador son 220V, 50Hz y 1000W con una temperatura de trabajo desde 5 hasta 95°C. Las dimensiones del interior de la sección de prueba son 100mm de ancho por 100mm de alto por 400mm de largo, lo cual es mucho más largo que el intercambiador de calor. Debido a la dificultad experimental, la prueba no pudo ser realizada como en la simulación, y consecuentemente, solo algunas de las características importantes del flujo y de la transferencia de calor fueron comparadas. Antes del experimento el agua fue calentada hasta la temperatura deseada en el calentador 1 y entonces la bomba 2 fue usada para conducir el agua caliente hacia el intercambiador de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

calor 5. Desde el intercambiador, el agua fluyó hasta el calentador 1. Para el lado de la coraza, el agua fría fluyo desde el depósito 3 hacia el ducto de agua 4 y, las válvulas 6 fueron utilizadas para el ajuste y control de los caudales deseados. Las temperaturas fueron medidas con un termopar calibrado teniendo 0.1° de incertidumbre. Las posiciones de los termopares utilizados para medir la temperatura son mostrados en la figura 5b donde las mediciones fueron hechas en posiciones equidistantes aguas arriba y aguas abajo del intercambiador de calor. Por lo tanto, los termopares fueron localizados a 75mm desde el intercambiador, con un punto de medida aguas arriba (o antes del intercambiador) y tres puntos de medición aguas abajo, como se muestra en la figura 5b. Las mediciones de temperatura fueron recolectadas y grabadas en un computador personal. Las dimensiones del cubo que abarca el intercambiador de calor usado para el experimento son 32X35X55mm. También, el intercambiador está compuesto con una bobina interior y una exterior con el mismo diámetro interior del tubo $d=1.5$ mm y sección transversal circular. Sin embargo, la bobina exterior y la bobina interior tienen el mismo número de tubos rectos y codos: 9 tubos rectos y 8 codos, cada uno; ver Figura 5c (Conte & Peng, 2009).

La representación esquemática y fotográfica de la configuración experimental utilizada por Chandra Sekhara & Veeredhi Vasudeva en su investigación experimental del coeficiente de transferencia de calor y del factor de fricción en intercambiadores con insertos helicoidales se muestra en las Figuras 6 y 7 respectivamente. Se compone de una sección de prueba, dos depósitos y dos bombas. La sección de prueba es un intercambiador de calor de doble tubo de 1,5 m de longitud. El tubo interior está hecho de cobre con un diámetro exterior de 0,00953 m y un diámetro interno de 0,00813 m, mientras que el tubo exterior está hecha de PVC con un diámetro exterior de 0,0339 m y un diámetro interior de 0,0278 m. Un nanofluido circula a través del tubo interior y el fluido caliente se hace circular a través del espacio anular mediante el uso de dos bombas con una precisión de $\pm 0,1$ L/s. Al tubo exterior se enrolla asbesto como aislamiento para minimizar la pérdida de calor a la atmósfera. Las temperaturas de entrada y de salida de nanofluido y fluido caliente se miden

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

con termopares de tipo J con una precisión de $\pm 0,1$ °C una vez que el sistema alcanza las condiciones de estado estacionario (Sekhara Reddy & Vasudeva Rao, 2013).

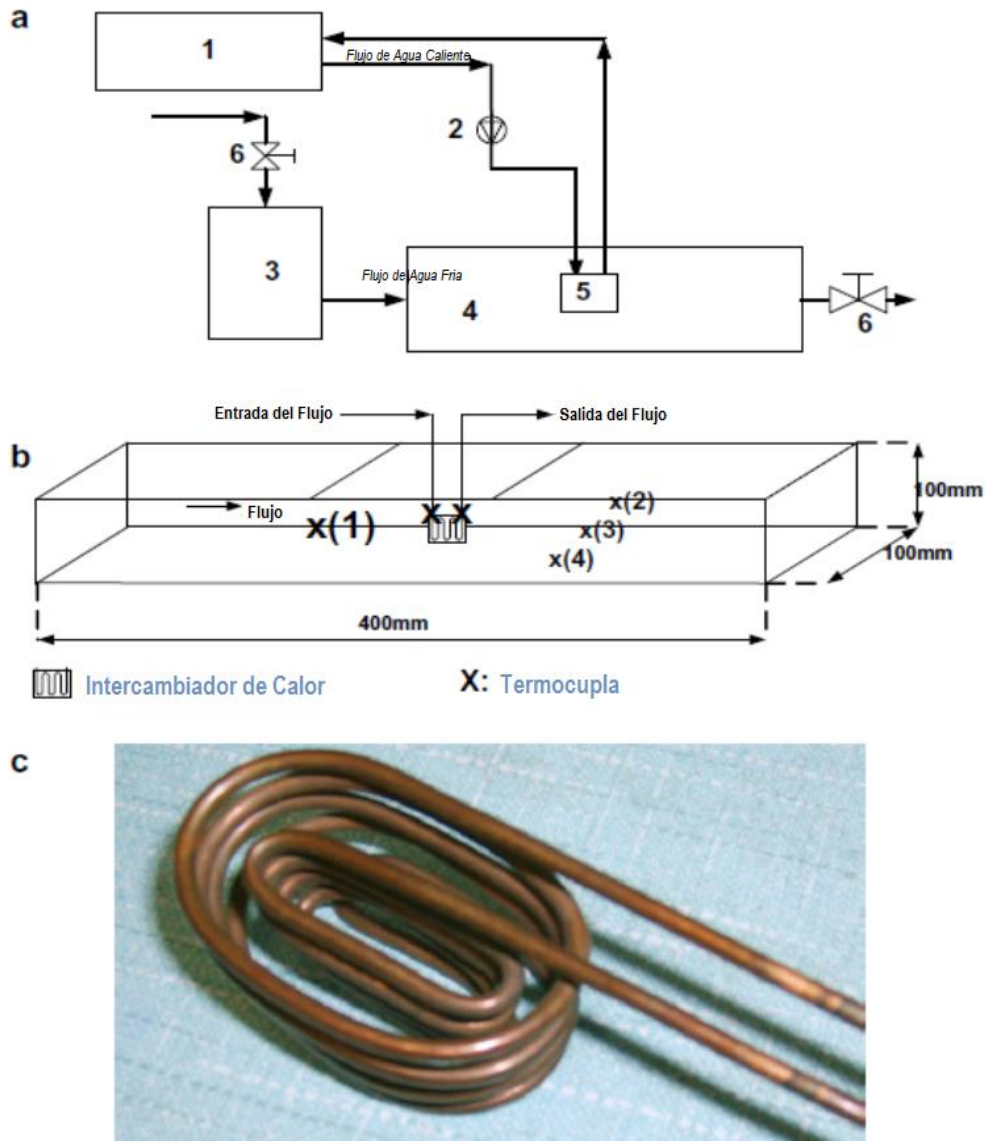


Figura 5 Montaje experimental. (a) Diagrama esquemático. (b) Sección de prueba y posición de termocuplas. (c) Intercambiador de calor. Adaptado de (Conte & Peng, 2009)

También se registró la tasa de flujo de masa de nanofluido y fluido caliente. Nanofluidos con diferentes concentraciones de volumen se prepararon añadiendo la cantidad necesaria de nanopartículas para el fluido base EG/W. Para asegurar la dispersión uniforme de las nanopartículas en la base de fluido, la solución se agitó mecánicamente durante aproximadamente 8 h. El factor de fricción de nanofluido se mide en términos de caída de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

presión. Un manómetro de tubo en U se emplea para medir la caída de presión de nanofluido lo largo de la longitud de la sección de prueba (Sekhara Reddy & Vasudeva Rao, 2013).

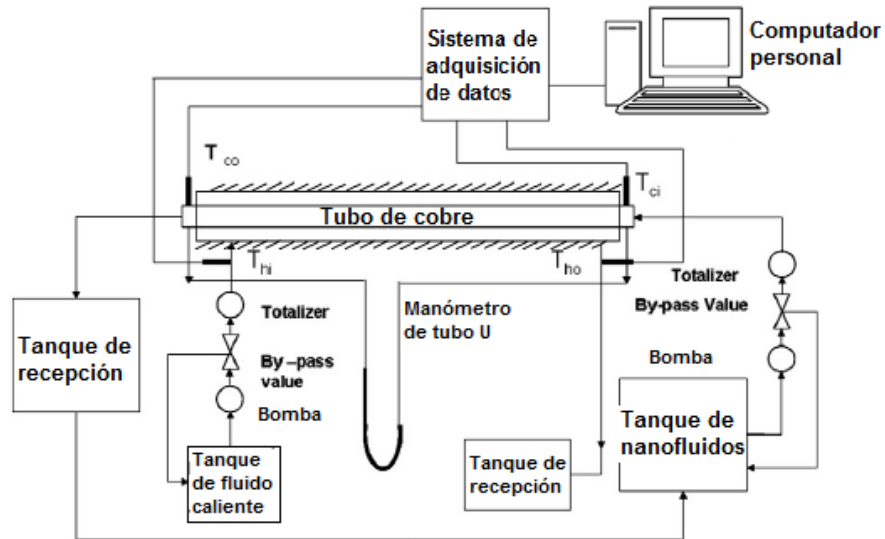


Figura 6 Diagrama esquemático de configuración experimental. Adaptado de (Sekhara Reddy & Vasudeva Rao, 2013)



Figura 7 Fotografía de montaje experimental. Tomado de (Sekhara Reddy & Vasudeva Rao, 2013)

El manómetro de tubo en U está unido a los orificios de 4 mm en ambos extremos del tubo interior. El mercurio se utiliza como fluido manométrico. Además, los experimentos de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

transferencia de calor se llevaron a cabo con nanofluido en un tubo interior con insertos helicoidales que han sido diseñados con $P/d = 1$ y 2.5 que se muestra en la Figura 8. El diámetro del alambre helicoidal es $0,002$ m y la longitud es de $1,5$ m insertados en el tubo desde un extremo de la sección de prueba. El número de Reynolds se calcula basándose en el diámetro equivalente cuando se utilizan insertos helicoidales. Los experimentos iniciales sobre la transferencia de calor y el factor de fricción se llevaron a cabo con fluido base que es una mezcla de etilenglicol y agua en la proporción de 40-60% en peso como fluido de trabajo, posteriormente, nanofluidos con diferentes concentraciones de volumen se introdujeron en el sistema (Sekhara Reddy & Vasudeva Rao, 2013).

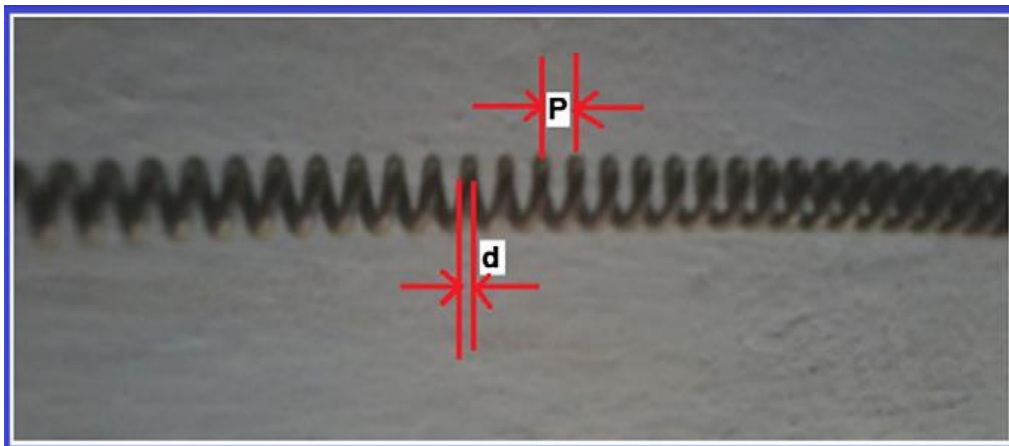


Figura 8 Fotografía de insertos de alambre de la bobina. Tomado de (Sekhara Reddy & Vasudeva Rao, 2013)

La figura 9 muestra el dibujo esquemático del sistema experimental empleado por Simin Wang, y otros, en su investigación experimental de la mejora en la transferencia de calor de intercambiadores con baffles helicoidales. Se compone de un sistema de circuito de agua, un sistema de circuito de aceite y un sistema de adquisición de datos. El aceite se calienta mediante un calentador eléctrico y fluye entonces en el lado de coraza como fluido caliente. Los baffles deflectores son probados en el mismo intercambiador de calor para la comparación en condiciones de funcionamiento idénticas. El sistema de adquisición de datos se compone de sensores, tarjeta de adquisición, programa de adquisición y PC. Se analizan los efectos de la configuración mejorada en la caída de presión y en el rendimiento

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

de la transferencia de calor. La disposición del banco experimental se muestra en la Figura 10 (Wang, Wen, Yang, Xue, & Tuo, 2014).

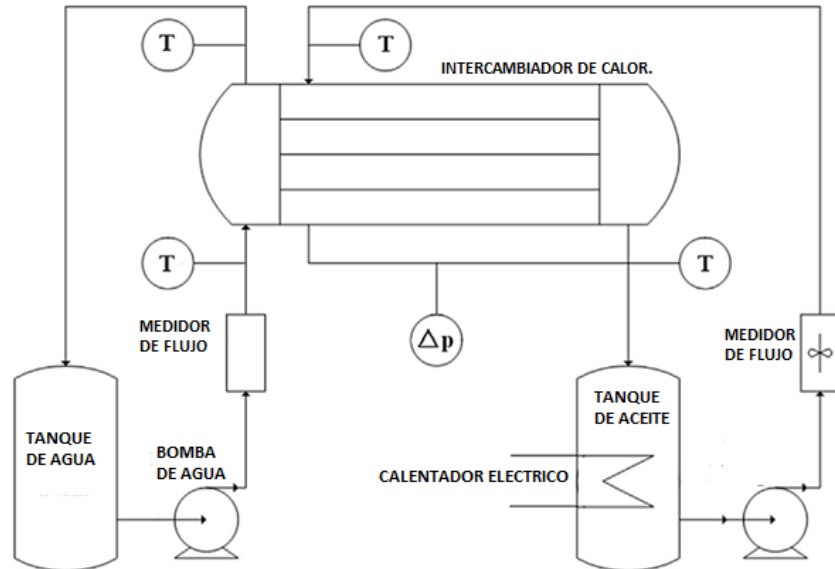


Figura 9 Esquema del montaje experimental. Adaptado de (Wang, Wen, Yang, Xue, & Tuo, 2014)



Figura 10 La disposición del banco experimental. Tomado de (Wang, Wen, Yang, Xue, & Tuo, 2014)

El diámetro interno del lado de la carcasa es de 250 mm y el diámetro externo del tubo es de 19 mm. Hay 57 tubos, como se muestra en la Figura 11, con la longitud de 2500 mm. Dos bombas centrífugas QB-100 se utilizaron en el experimento para determinar el flujo de agua y aceite, respectivamente. Hay dos tanques para el aceite y el agua con una capacidad de 1 m³ y 4 m³, respectivamente. Un rotámetro LZB-100 se utilizó para medir el flujo de agua y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

el error de medición fue menor que 2,0%. La temperatura se mide mediante termopares de cobre con errores de medida de menos de 0,1 °C (Wang, Wen, Yang, Xue, & Tuo, 2014).

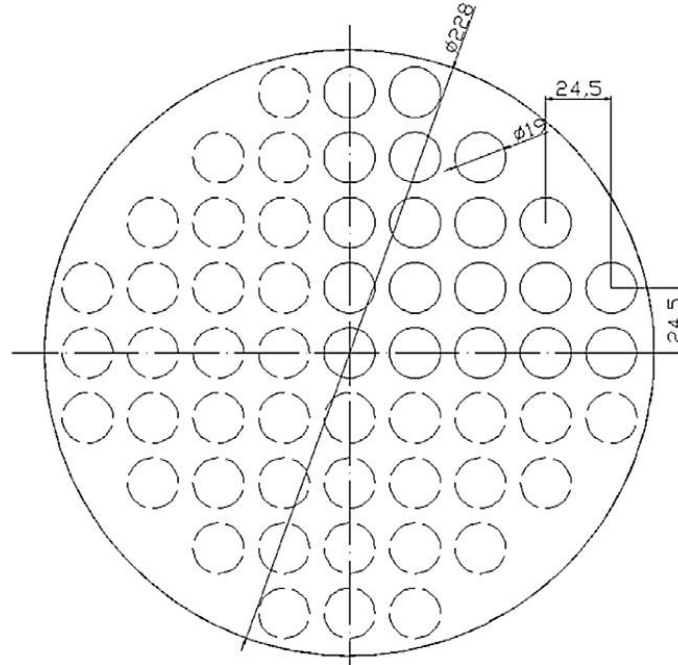


Figura 11 Figura esquemática de la distribución de tubo. Tomado de (Wang, Wen, Yang, Xue, & Tuo, 2014)

El diagrama esquemático del montaje experimental, para la realización de experimentos de transferencia de calor agua-agua, que se muestra en la Figura 12, fue empleado por Rane & Tandale en su estudio experimental y analítico de intercambiadores de tubos concéntricos. Incluyó un módulo cubierto con aislamiento en la sección de prueba, un calentador de agua eléctrico, válvulas, bomba e instrumentación para la medición. El montaje experimental se compone de dos circuitos de fluido. El primer circuito, como se muestra en la Figura, es de agua caliente. El agua caliente se genera en un calentador de agua eléctrico, que tiene una capacidad de aproximadamente 9 kW. El caudal de agua caliente del calentador es controlado por la válvula y su temperatura en la entrada a la sección de prueba está controlada por un Variac de tres fases. La temperatura del agua caliente en la entrada y la salida de la sección de prueba se miden por termopares de tipo K. El segundo circuito es el de refrigeración como se muestra en la mitad superior de la Figura 12. Este es de bucle abierto con un medidor de turbina digital para la medición de la tasa de enfriamiento del

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

flujo de agua y la presión de la válvula de control para regular la velocidad de flujo. La tasa de flujo de agua se ajustó a diferentes valores (Rane & Tandale, 2005).

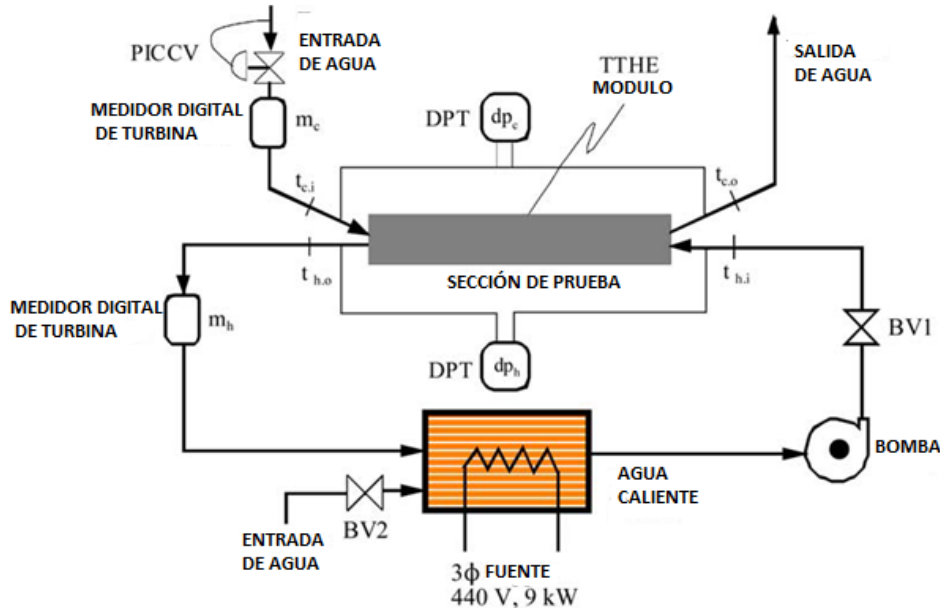


Figura 12 Esquema de la configuración experimental para la transferencia de calor agua-agua. Adaptado de (Rane & Tandale, 2005)

Zan Wu, y otros, estudiaron la caída de presión, la transferencia de calor por convección y el empleo de nanofluidos en intercambiadores de tubos concéntricos en bobina helicoidal. Una ilustración esquemática de la configuración experimental empleada se muestra en la Figura 13a. Se compone de dos bucles, para los líquidos fríos y calientes, respectivamente. El agua caliente o nanofluido corre en el circuito cerrado, mientras que el agua fría es forzada por el lazo abierto. El nanofluido se calienta en un depósito de 50 L por un calentador eléctrico incrustado de 6 kW fijo en la parte inferior del depósito. El fluido caliente se bombea desde el depósito, y luego pasa a una válvula de control, entra en el tubo interno del intercambiador enrollado helicoidalmente, entra en un rotámetro, y vuelve al depósito. Para el bucle frío, el agua fluye a través de la bomba desde un tanque de agua, pasa a una válvula de control, entra en el rotámetro para medir el caudal, y luego entra en el intercambiador en contracorriente. Cada circuito tiene dos rotámetros de medición de caudal. Un transductor de presión diferencial con una precisión de 0,075% se utilizó para medir la caída de presión a través del tubo interior. Todos los rotámetros fueron calibrados

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

para el agua y nanofluidos de diferentes concentraciones a diferentes temperaturas mediante el uso de un cronómetro y medición en los cilindros. Las temperaturas de entrada y de salida del tubo interno y el anillo se midieron con cuatro termopares de cobre calibrados con una precisión de 0,1 K, respectivamente. Todas las mediciones de temperatura fueron grabadas por un registrador. El intercambiador de calor enrollado helicoidalmente de doble tubo fue construido por tubos de cobre y conexiones de cobre estándar. El tubo interior enrollado helicoidalmente, que se muestra en la Figura 13b, tiene un diámetro interior (d_i) de 13,28 mm. La superficie exterior del tubo interior se ha mejorado con aletas circulares (no mostrados en la Figura) Con una altura de la aleta de 3,2 mm. La relación de la superficie exterior (A_o) a la superficie interior (A_i) del tubo interior es 4,83. El tubo exterior enrollado helicoidalmente tiene un diámetro interior de 26 mm. El diámetro hidráulico aproximado del lado del anillo (d_a) es de 8 mm (sin considerar las aletas). El número de vueltas (n) de las bobinas helicoidales es 4,5, y cada bobina tiene un diámetro de curvatura (D_c , medida desde el centro del tubo interior) de 254 mm. El paso de la espiral helicoidal (p) es de 34,5 mm. La longitud total del intercambiador de calor helicoidal evaluado es de 3,591 m. La temperatura de entrada del fluido caliente se mantuvo a $28,0 \pm 3,0$ °C. La temperatura de entrada del fluido frío se mantuvo a $5,5 \pm 0,5$ °C. Para cada condición de ensayo, se registraron y promediaron cuatro mediciones. Además, la repetitividad de los experimentos era muy buena, con una desviación de menos de 1,0% (Wu, Wang, & Sundén, 2013).

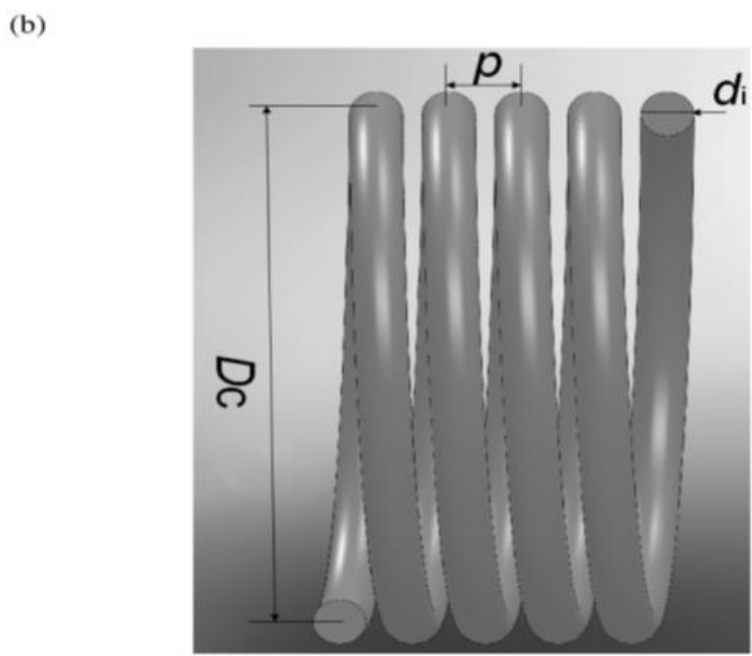
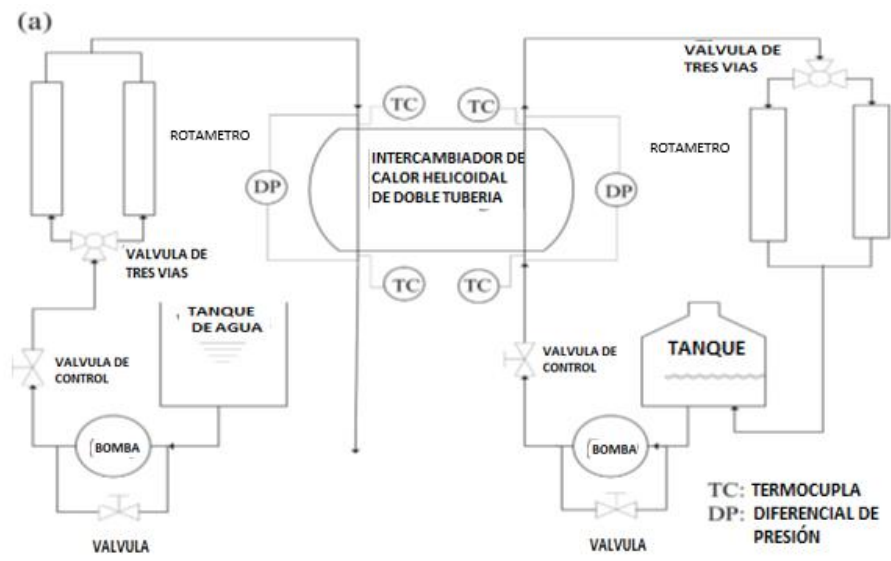


Figura 13 Ilustraciones esquemáticas de (a) instalación experimental, y (b) del tubo enrollado helicoidalmente. Adaptado de (Wu, Wang, & Sundén, 2013)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto planteado se siguió la metodología propuesta, la cual ayudo a cumplir los objetivos específicos, consistente en una serie de procedimientos, los cuales garantizaran que el banco experimental sea construido bajo condiciones ideales de funcionamiento, adquisición, ensamble y puesta a punto del sistema. Se realizó una consulta con el investigador encargado del proyecto, y se analizaron publicaciones bibliográficas científicas, investigaciones realizadas, artículos y demás material escrito, cuyos resultados relevantes fueron reportados en la sección anterior, para luego realizar una estimación de los componentes generales que se deben utilizar y la cantidad de cada uno de estos, brindando los elementos que deben ser comprados comercialmente y los que requieren materia prima para su fabricación. También se conocieron las variables y parámetros que influyen en este sistema, con el fin de brindar opciones de montaje y así seleccionar la configuración más idónea para que este tuviera las características de funcionamiento requeridas. Estos elementos fueron definidos mediante una consulta de catálogos y fabricantes, que brindaran características específicas de funcionamiento, siendo estas las más adecuadas para la instalación en el banco experimental, y se logró definir su respectiva referencia y el tipo de materiales a usar.

Para facilitar el montaje del sistema, se realizó un modelo 3D, en un software CAD, siendo para este caso el programa Creo Parametric®, en el cual se creó un modelo de cada componente que formará el banco experimental, al igual que los sistemas disponibles que se utilizaran como parte del proyecto, con sus dimensiones y posición de instalación para la futura puesta a punto del sistema, esto con el fin de proporcionar unas instrucciones fáciles de seguir en base a la concepción de distribución, concluyendo con el montaje y la verificación del funcionamiento, para los sistemas que componen el equipo, así se presentan los equipos que se deben comprar finalmente. En la Tabla 2 se muestran las

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

actividades desarrolladas durante este proyecto y los productos conseguidos tras la ejecución de cada una de ellas.

Tabla 2 Muestra de manera detallada la metodología descrita

Objetivos específicos	Actividades	Productos
Identificar las necesidades que se deben suplir al diseñar el banco experimental.	Realizar una entrevista al docente investigador, encargado del proyecto, analizando los aspectos más importantes que influyen en el desarrollo del proyecto.	Características de funcionamiento iniciales que integraran el banco experimental para poder caracterizar el proceso de transferencia de calor.
Investigar cómo son los bancos experimentales que se emplean en la prueba de intercambiadores de calor.	Examinar información sobre los bancos experimentales de pruebas para intercambiadores de calor en la actualidad.	Lograr conocimientos relevantes en cuanto a montaje, diseño, instrumentación, ensamble, variables que intervienen en los bancos experimentales de intercambiadores de calor a nivel mundial.
	Encontrar diversas opciones de diseños de bancos experimentales empleadas por investigadores a nivel mundial.	
	Adquirir criterios de diseño para realizar posibles diseños para el banco experimental.	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Definir especificaciones de desempeño del banco.	Definir: <ul style="list-style-type: none"> • Elementos del proyecto • Composición de la estructura • Tipos de fluidos con su temperatura y presión de trabajo • Caudales de cada fluido • Instrumentación • Conexiones eléctricas e hidráulicas 	Garantizar el buen funcionamiento y la estabilidad, para brindar confiabilidad al momento de cotejar los resultados reales con los estipulados en el simulador. Además definir las correlaciones entre los procesos simulados y los reales con esto se sabrán que variables se deben modificar en el sistema y como influenciaran el proceso de transferencia.
Analizar soluciones de diseños disponibles o factibles para el banco experimental deseado.	<p>Se realizara la configuración inicial de los componentes que componen el banco experimental.</p> <p>Se analizaran las posibles configuraciones del banco experimental como sistema y sus posibles ubicaciones, dentro del espacio brindado en el Laboratorio de Fluidos G 405 del campus Robledo.</p> <p>Realizar un listado de los componentes generales del banco experimental.</p>	Adquirir el conocimiento necesario para optimizar el espacio disponible para la ubicación del dispositivo en el espacio disponible.
Seleccionar la mejor solución de diseño	Realizar una cotización de cada elemento con base en catálogos	Conocer la cantidad y el tipo de componentes que se deben adquirir

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

para el banco experimental deseado.	y proveedores de estos elementos.	para este banco experimental, de igual forma el costo que posee cada elemento ya sea por compra directa o por fabricación de terceros, esto con el fin de optimizar al máximo el espacio disponible para su instalación y puesta a punto.
	Seleccionar los tipos de materiales, especificaciones técnicas y proceso de fabricación para los elementos que no se encuentran comercialmente.	
	Evaluar el diseño final del banco experimental teniendo en cuenta el costo – beneficio tanto para el estudiante como para la institución, al momento de la instalación y adquisición de elementos, ya que esto justificara la decisión tomada.	
	Buscar las especificaciones técnicas de cada elemento del banco experimental ya sea por catálogo del fabricante o por medición directa.	
Crear un conjunto completo de planos del banco experimental.	Realizar el modelo 3D de cada elemento medido para su posterior ensamble por medio del software Creo Parametric®.	Proveer un conjunto de planos, en los cuales se, brindara: <ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de componentes con su respectiva referencia y proveedor
	Diseñar los elementos que no sea posible encontrar comercialmente, para el	

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

	<p>montaje del sistema y se ensamblar finalmente con todo el banco experimental en Creo Parametric®.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Material y proceso de fabricación de los elementos no comerciales. • Dimensiones e instalación de los elementos del banco experimental.
	<p>Realizar el ensamble total del sistema, con cada uno de los elementos modelados en el programa Creo Parametric®.</p>	
	<p>Suministrar un conjunto de planos con las dimensiones más relevantes para el proceso de instalación del banco experimental</p>	

Superando la propuesta inicial del proyecto, y tras la adquisición inicial de algunos elementos proyectados, se logró inicial el trabajo de instalación y puesta a punto del banco experimental, por lo tanto, el reporte de resultados que se presenta en el siguiente capítulo llega hasta fotos comparativas entre el modelo diseñado y el banco instalado, por lo menos para el circuito de fluido frío del montaje experimental del proyecto de Investigación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4. RESULTADOS

4.1. Visita Investigador y Estado del Arte

En la reunión se habló de aspectos relevantes como las variables que debe medir el banco, el espacio a ocupar por este, el tipo de fluido a utilizar, también se concretó el tipo de intercambiador con el que contará el banco experimental, se especificaron de forma general de acuerdo con las variables a medir los instrumentos metrológicos necesarios para esta finalidad.

Se investigó en las bases de datos de ScienceDirect e IEEE, en las cuales se condensa la información pertinente a bancos experimentales de intercambiadores de calor a nivel mundial, para identificar los diseños, componentes, funcionamiento y el fin con el cual se crearon. Con esto se lograron identificar los componentes básicos que integraran el banco, los parámetros a tener en cuenta a la hora de realizar las mediciones, los instrumentos de medición requeridos y así poder realizar el diseño óptimo del presente banco experimental.

4.2. Componentes Básicos y Cotización

4.2.1. Componentes Básicos

- Termocuplas o termómetros de contacto
- Manómetros
- Medidores de flujo (rotámetros o flujómetros)
- Válvulas
- Tubería o mangueras
- Accesorios (uniones, codos, T)
- Acoples
- Calentador eléctrico (resistencia)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Intercambiador de calor de tubo torsionado (referencia TURBOTEC)
- Estructura de soporte para el banco experimental (repisa)
- Tanques de almacenamiento de fluidos
- Bomba hidráulica
- Fuentes de voltaje
- Sensores (medidores de nivel)
- Conductores eléctricos
- Tablero Eléctrico
- Mezclador (motor eléctrico, paletas)
- Soportes componentes de medición (termocuplas, intercambiador)
- Ubicación del dispositivo

Luego de realizar un muestreo de los componentes necesarios y los proveedores que se consultaron, se eligieron y cotizaron los siguientes elementos para el banco experimental, teniendo en cuenta el montaje físico que existe en el Módulo Automatizado de Fluidos del Laboratorio de Mecánica de Fluidos (G405) del ITM, se identificaron muchos de los elementos listados, notándose la facilidad que ello implicaba para el montaje que se estaba diseñando, de manera que quiso planearse la adaptación de dicho banco al del presente proyecto porque ya posee elementos que no serán necesarios comprar. Además se pensó la posibilidad de utilizar una bomba de calor en el lado de fluido caliente, para simular la calefacción de una piscina como la del Instituto.

4.2.2. Medidores de Flujo

En este banco experimental se utilizarán dos (2) fluxómetros para realizar la medición del flujo tanto en la entrada del fluido caliente, como la entrada del fluido frío, estos equipos tendrán estas características:

Referencia: N0640513 – Fluxómetro Totalizador

DESCRIPCIÓN: Fluxómetro Totalizador, indica el flujo instantáneo y total acumulado, expresado en litros por minuto. Totalizador con vuelta a cero, pantalla LCD de 6 dígitos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Especificaciones:

- Rango : 15-150 litros por minuto
- Precisión : $\pm 2\%$ rango total
- Máxima presión : 300 PSI @ 21 °C
de trabajo
- Máxima temperatura : 93 °C @ 0 PSI
de fluido
- Caída de presión : 8 PSI
- Conexión : 2 "NPT
- Material de
 - Sensor : PVDF
 - Sellos, o ring : Viton
 - Material "T" : PP (polipropileno)
- Caja ABS, protección NEMA 4X
- Alimentación : 2 pilas AAA
- Reemplazo de pilas 45 segundos para no perder información de totalizador

Nota: Para este caso no se realizara la compra de estos componentes debido que el montaje que se encuentra en el Laboratorio de Fluidos, ya cuenta con el sensor para el lado frío (ver Figura 14), y el lado caliente no será medido en caso de usar bomba de calor.



Figura 14 Sensor de flujo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.2.3. Medidores de Temperatura

Se utilizaran cuatro (4) termómetros de contacto, las cuales estarán a la entrada y salida del fluido frio al igual que del fluido caliente, y posee las siguientes características:

Referencia: St-9290 Maxthermo

Especificaciones:

- Unidad de temperatura : °C - °F seleccionable
- Indicador de batería baja
- Rango de temperatura : -50 °C a +150 °C o -58 °F a 302 °F
- Función alarma : T alta o T baja
- Dimensiones : 32x37x14 mm (LxWxD)

Se realizó la cotización del siguiente equipo:

Control de temperatura con termocupla tipo j, Precio \$ 84.700 c/u (precio sin iva).

4.2.4. Medidores de Presión

En el banco experimental se utilizaran medidores de presión con las siguientes características:

Referencia: serie 2700G-BG700K FLUKE

Especificaciones:

- Rango : -12 a 100 psi o -80 a 700 KPa
- Resolución : 0.01 psi
- Medios de Compatibilidad : cualquier liquido o gas compatible con el acero inoxidable 316
- Dimensiones : 12.7 x 11.4 x 3.7 cm (Al x An X La)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Conexión de presión : ¼ en NPT macho
- Carcasa/peso : ZNAL fundido/0.56 Kg (1.22lb)
- Alimentación : tres baterías alcalinas AA

Se realizó la cotización del siguiente equipo:

Manómetro, Rosca 1/4", caratula 2 1/2", De 0-300 psi; Precio \$30.000 c/u (precio sin iva)

4.2.5. Válvulas

Las válvulas que se utilizaran, serán válvulas manuales con las siguientes características:

- Válvula Manual de bola de 2"
- Material: PVC
- Cantidad: 3
- Unión: soldado

Se realizó la cotización del siguiente accesorio: Válvula 2": \$ 19.186 c/u

4.2.6. Tuberías

En este montaje se utilizara tubería presión de PVC de 2" de diámetro, al igual que 3 uniones tipo codo y 2 uniones tipo T, y se cotizaron los siguientes accesorios:

Tubería 2": \$ 45.000 – 3m

Codo 2": \$ 9.053 c/u

T 2": \$ 11.565 c/u

Soldadura liquida PVC: \$ 40.307

Acondicionador PVC: \$ 20.439

4.2.7. Acoples

Los acoples que tendrá el proceso serán acordes a las exigencias del montaje, las cuales en caso de no obtenerla con las especificaciones necesarias en los catálogos, se procederá a fabricarse en el taller de máquinas herramientas del Instituto.

4.2.8. Intercambiador de calor

El intercambiador de calor con que contará el banco experimental, fue seleccionado de acuerdo a las especificaciones técnicas y al espacio brindado por el Laboratorio de Fluidos del ITM, el cual consta de las siguientes especificaciones técnicas (ver Figura 15 y Tabla 3):

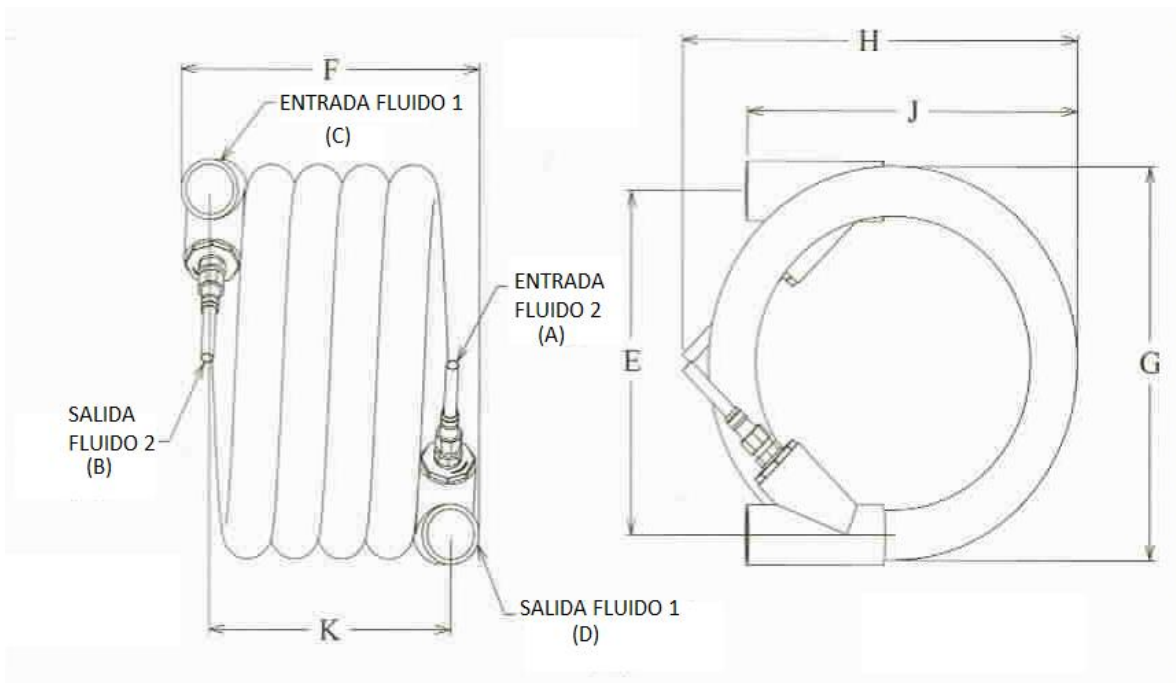


Figura 15 Características intercambiador de Calor. Tomado de (Turbotec Products, Inc. , 2010)

Tabla 3 dimensiones intercambiador de calor

Especificaciones

	CTHVT-70	CTHVT-50
A & B	5/8"	5/8"
C & D	2"	2"
E	16.25"	16.25"
F	15.75"	13.38"
G	19.50"	19.50"

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

H	20.44"	20.75"
J	16.44"	16.44"
K	12.75"	10.38"
SS Vol	685 in ³	550 in ³
TS Vol	58 in ³	43 in ³
Peso en seco	25.5 Lbs	20.5 Lbs

En la Figura 16 puede apreciarse el equipo adquirido durante el desarrollo del presente proyecto y disponible en el Laboratorio de Fluidos del Instituto.



Figura 16 Intercambiador de calor

4.2.9. Estructura (Repisa)

La estructura sobre la cual se montará el intercambiador de calor, será fabricada en tubo cuadrado de 1", el cual formará un marco con las dimensiones de 630x630 mm y se soportará sobre dos pie amigos fabricados en platina de 1" x 3/16, al igual que tendrá una tabla de madera circular con un diámetro de 630mm en la cual reposará el intercambiador.

Tubo cuadrado 1": \$ 10.000 – 3m

Platina 1" x 3/16: \$ 5.000 – 3m

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Circunferencia de diámetro 630 mm y espesor 3mm: \$ 24.000

Tornillería: \$ 10.000

4.2.10. Tanques

Los tanques para los fluidos del banco experimental, se buscaran con las siguientes características:

- Capacidad : 100 L
- Material : plástico
- Dimensiones : largo 600mm – ancho 600mm – alto 735mm – peso 3.011 Kg
- Color : Rojo - Azul

En este caso ya se cuenta con dos tanques los cuales poseen las siguientes características:

- Tanque 1 (ver Figura 17)
 1. Material: Acrílico
 2. Dimensiones: Diámetro interno de 800 mm y altura de 1000 mm
 3. Capacidad: 502 Litros
- Tanque 2 (ver Figura 18)
 4. Material: Acero
 5. Dimensiones: Diámetro interno de 1000 mm y altura de 1200 mm
 6. Capacidad: 942 Litros

4.2.11. Bomba hidráulica

La bomba que se necesita para el desplazamiento de los fluidos entre los tanques, debe tener las siguientes especificaciones:

- Potencia : 1HP
- Tensión/Frecuencia : 120V/60Hz
- Velocidad : 3450 rpm

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Flujo máximo : 116L/min
- Altura máxima : 36m
- Máxima profundidad : 8m
- Ø de entrada/salida : 1" NPT



Figura 17 Tanque 1, estructura soporte y Fluxómetro.



Figura 18 Tanque 2 y bomba

En este caso se utilizara la bomba disponible en el Módulo Automatizado de Fluidos que transporta el líquido del tanque 2 al tanque 1, posee las siguientes especificaciones:

Marca: Siemens
Potencia: 1.80/1.34 HP/kW
Voltaje: 220 (YY) – 440 (Y) V
Corriente: 5.6 – 2.8 A

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Frecuencia: 60 Hz
Velocidad: 3450 RPM
FP: 0.84
FS: 1.0
Control: Variador de frecuencia

4.2.12. Contactores, Tablero Eléctrico y Soporte de Componentes

El Módulo de Tanques, cuenta con un completo sistema de control y potencia, que tiene la capacidad de controlar las válvulas de admisión y salida de agua, también posee control sobre las bombas de transmisión de agua de un tanque a otro, con esto se ahorrará la instalación de los elementos que componen el tablero eléctrico (contactores, relés, cables, etc.).

4.2.13. Medidores de nivel

Los medidores de nivel que necesitan los tanques son los siguientes:

Referencia: SNA3.15

Especificaciones:

- Material del cable : PVC o Neopreno
- Tipo de contacto : microswitch NC y NA
- Vida de contacto : 10 millones de switch
- Presión de proceso : max 0.1 MPa
- Protección : IP68
- Angulo de switch : $\pm 45^\circ$
- Temperatura de proceso : 0°C a 50°C

Los medidores de nivel con los que cuenta el tanque son los siguientes:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Tanque 2: el medidor consta de un flotador que crea un fuerte campo magnético a su alrededor, que hace que los banderines giren 180° cambiando así de color, lo que hace que se pueda observar el nivel a una distancia segura del sistema.
- Tanque 1: el sistema de medición de nivel con que cuenta el tanque es una cinta métrica que indica la altura del fluido con respecto a la base del tanque, esto con la visibilidad que proporciona el material acrílico con que está diseñado el tanque

4.3. Modelación Componentes, Configuración y Montaje del Banco Experimental 3D

4.3.1. Posibles Configuraciones y Diseños del Banco Experimental

Debido al espacio disponible en el Laboratorio de Fluidos, el cual cuenta con el sistema de Modulo Automatizado de Fluidos, el cual servirá como proveedor del fluido frio, y que cuenta ya con algunos instrumentos de medición y elementos de funcionamiento (bomba, tanques, tubería, válvulas), se hará la salvedad de que solo se puede realizar una posible configuración del banco experimental, lo cual limita el uso de algunos dispositivo y elementos, ya que se debe utilizar el espacio al máximo y evitar dañar o interferir en el funcionamiento normal de este módulo.

4.3.2. Componentes a Modelar

A continuación se muestran otros elementos que se encuentran en el Módulo de Tanques, los cuales se buscaron con su respectiva referencia, para encontrar las dimensiones físicas del elemento, lo cual facilitará su proceso de modelación, sin embargo de algunos de estos componentes no fue posible encontrar dichas especificaciones, con lo cual se procedió a medir cada parte que lo integra para de igual manera asemejarse a su modelo 3D exacto, como ocurrió con la Válvula Solenoide (ver Figura 19) y con la conexión del Rotámetro (ver Figura 20).



Figura 19 Válvula selenoide



Figura 20 Rotámetro

4.3.3. Modelo 3D de los componentes

Aquí se mostrará el modelo 3D de los elementos que componen el Módulo de Tanques, manifestando que solo se creó el modelo 3D para los dispositivos que harán parte del diseño del banco experimental: Rotámetro (Figura 21), Sensor de flujo (Figura 22), Válvula Solenoide (Figura 23), Repisa soporte (Figura 24), Válvula de bola de 2" (Figura 25), Conexión T de 2" (Figura 26), Codo 90° de 2" (Figura 27), Tuerca Universal de 2" (Figura 28), Estructura tanque 1 (Figura 29), Estructura tanque 2 (Figura 30), Tanque 1 (Figura 31), Tanque 2 (Figura 32), e Intercambiador de Calor (Figura 33).

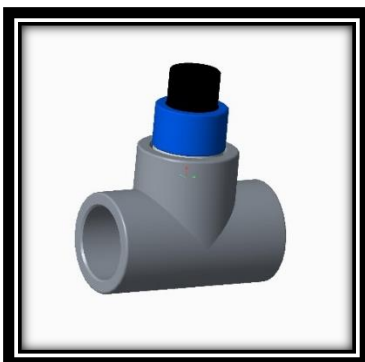


Figura 21 Rotámetro

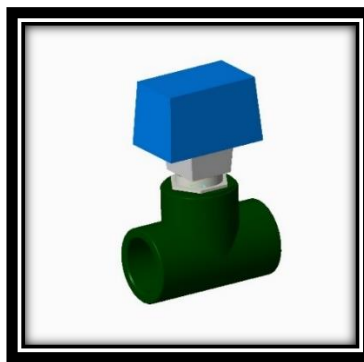


Figura 22 Sensor de flujo

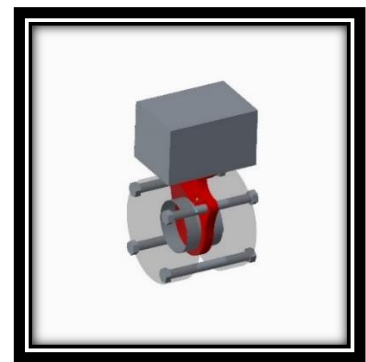


Figura 23 Válvula selenoide

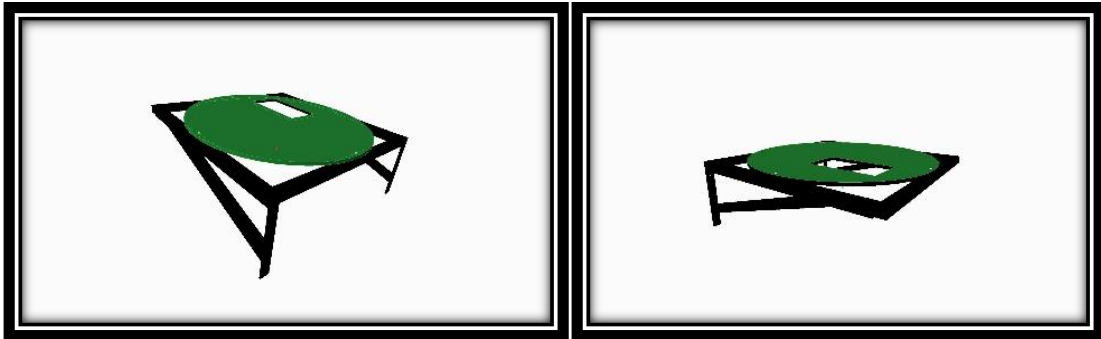


Figura 24 Repisa soporte para intercambiador

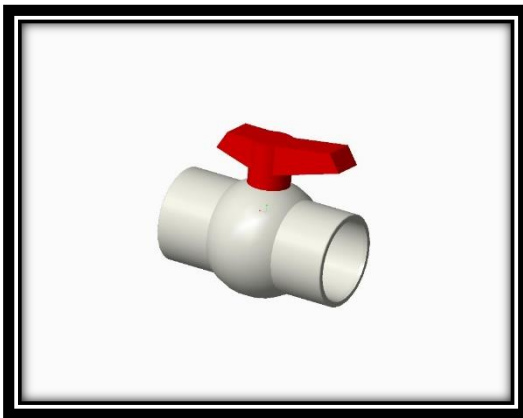


Figura 25 Válvula de bola de 2"

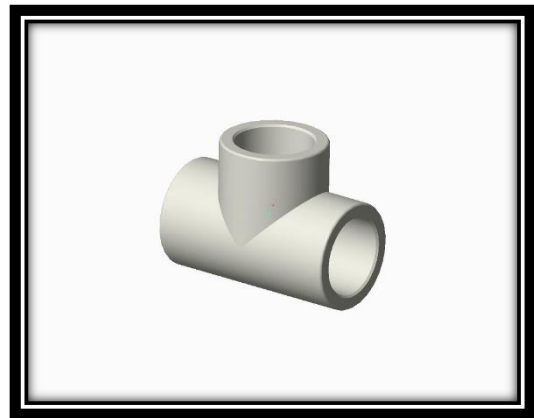


Figura 26 T de 2"



Figura 27 Codo de 2"

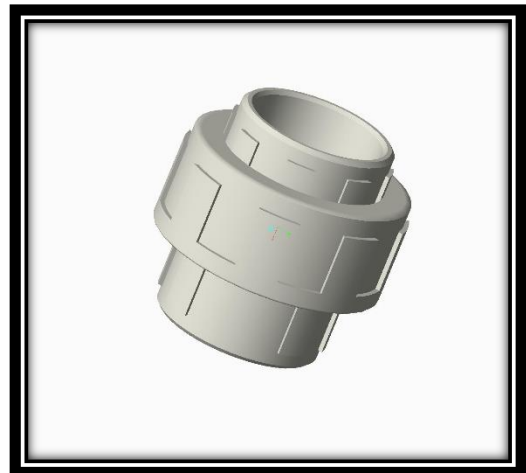


Figura 28 Tuerca Universal de 2"

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

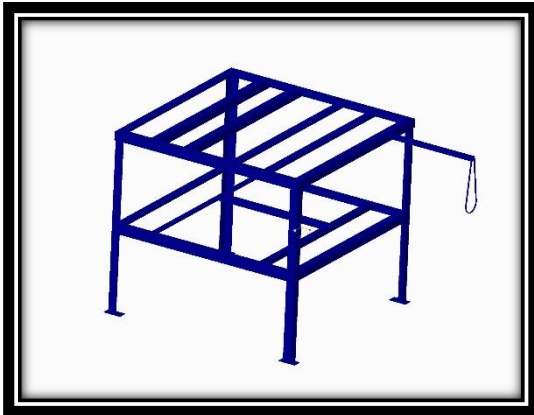


Figura 29 Estructura soporte tanque 1

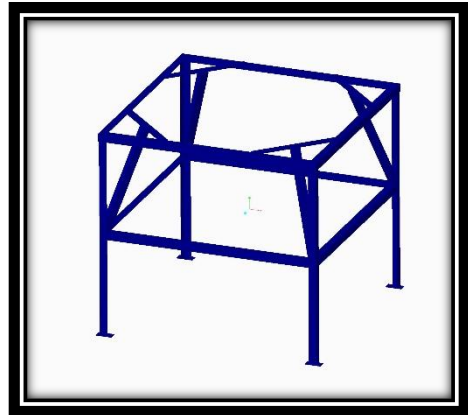


Figura 30 Estructura soporte tanque 2

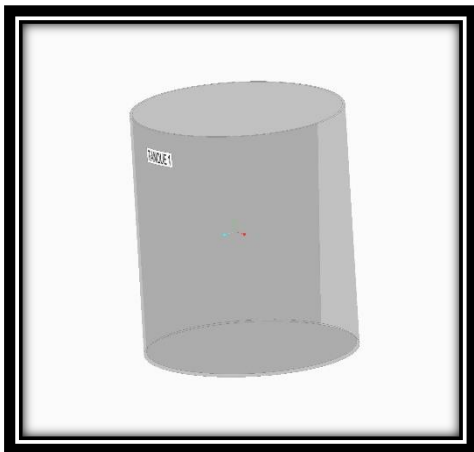


Figura 31 Tanque 1



Figura 32 Tanque 2



Figura 33 Intercambiador de calor

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.3.4. Modelo Final del Banco Experimental

A continuación se presenta el modelo 3D del ensamble de todos los elementos modelados, cabe anotar que no se elaboraron planos de montaje pues el mismo fue ejecutado a partir del modelo presentado en las Figuras 34 y 35, vista dimétrica y vista frontal, respectivamente.

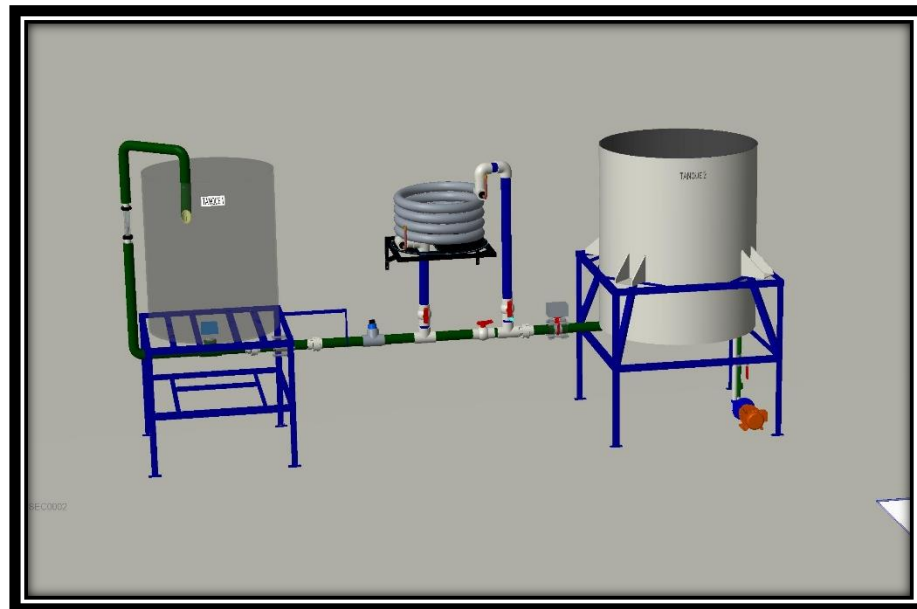


Figura 34 Vista dimétrica montaje laboratorio de fluidos

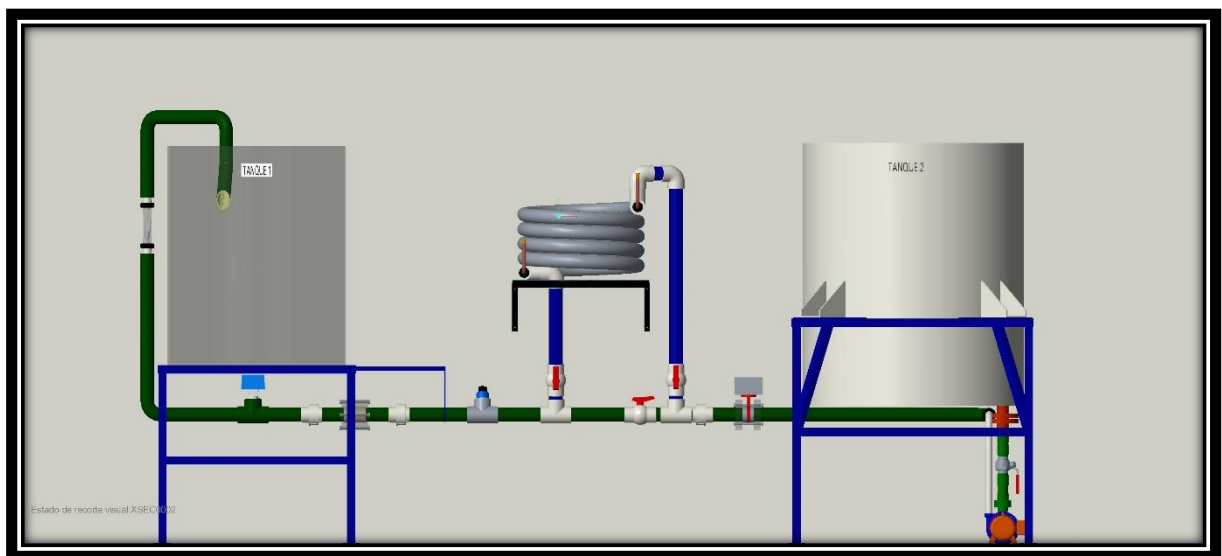


Figura 35 Vista frontal montaje laboratorio de fluidos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.4. Montaje de Fluido Frío para intercambiador de Calor

Adicional al modelo 3D del montaje del banco experimental del intercambiador de calor, se realizó el ensamble físico del circuito frío, dejando la instalación lista para el montaje del circuito caliente (que se piensa será un sistema de bomba de calor) y la instrumentación. El montaje se hizo de acuerdo con las características suministradas por el modelo 3D, en el cual se sustentaran las medidas con las cuales se procederá a ensamblar cada elemento que compone el sistemas de alimentación del fluido frío (tubería, válvula, soporte intercambiador de calor, accesorios de tubería), teniendo en cuenta que la instrumentación, que posee este sistema genera un costo excesivo, no se realizará dicha instalación de estos equipos en este proyecto, lo cual permitirá, que más estudiantes en proceso de formación, continúen con el proyecto hasta su finalización total. En esta sección se presenta la secuencia de tareas que permitieron dicha instalación. En la Figura 36 puede apreciarse el Banco Automatizado de Fluidos que se encontró disponible en el Laboratorio, se ve previo a los trabajos, y en la Figura 37 se presenta un acercamiento al espacio escogido para la instalación del intercambiador de calor a probar.



Figura 36 Modulo Automatizado de Fluidos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 37 Espacio para instalación de repisa soporte

En la Figura 38 se presentan los tubos cortados para la fabricación de la repisa soporte y los cortes de madera que fueron adquiridos. La Figura 39 evidencia el proceso de soldadura y en la Figura 40 se ve el soporte ensamblado y pintado, pero aún no estaba listo para su instalación, pues debía realizarse un corte de material que permitiera el paso de la tubería de descarga, por lo tanto en las Figuras 41 a 43 se ilustra el proceso y las herramientas empleadas para tal fin. Las Figuras 44 y 45 ilustran el proceso de instalación de los chazos para anclaje de la repisa soporte a la pared en el lugar escogido, y la Figura 46 muestra la instalación y nivelación de la repisa soporte como tal. Para presentar en la Figura 47 el intercambiador de calor ya posicionado, pero no conectado al circuito.



Figura 38 Elementos para fabricar repisa

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 39 Proceso para soldar repisa

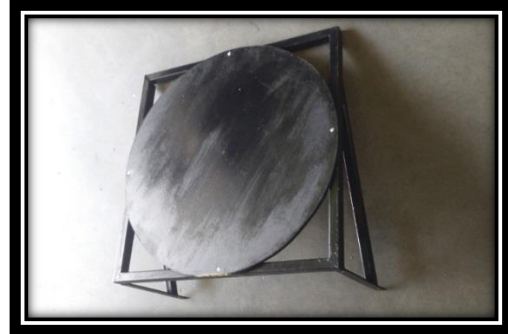


Figura 40 Repisa soporte terminado

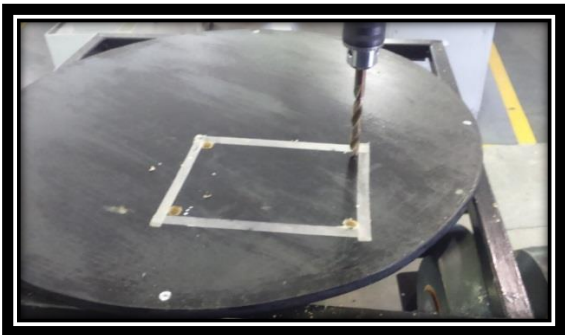


Figura 41 Perforación agujero repisa



Figura 42 Corte agujero repisa

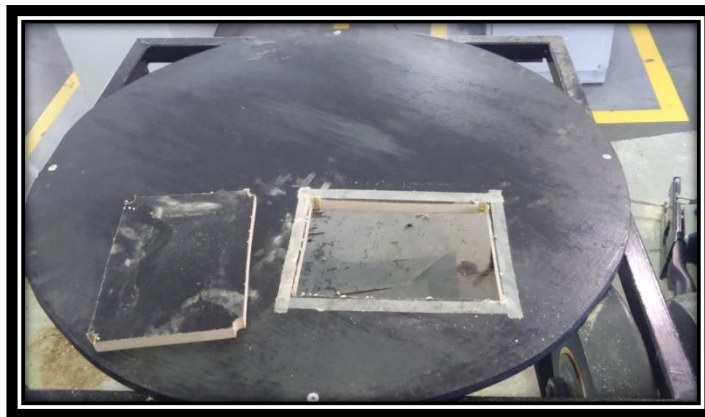


Figura 43 Agujero Repisa

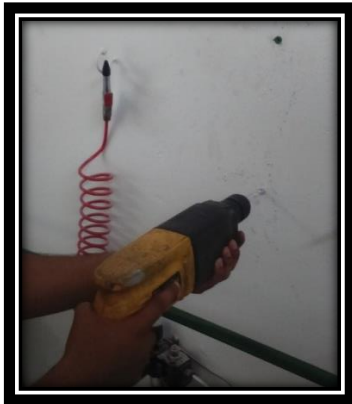


Figura 44 Perforación pared para repisa



Figura 45 Agujeros para repisa

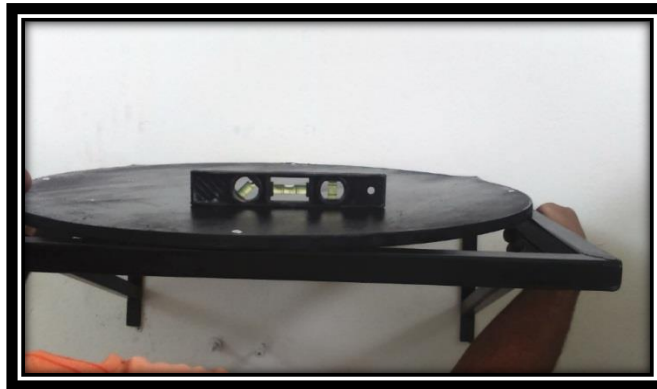


Figura 46 Nivelación de repisa



Figura 47 Montaje intercambiador en repisa

Las Figuras 38 a 48 permiten evidenciar paso a paso todo el proceso de conexión del intercambiador al circuito de agua fría que permitirá simular la calefacción de una piscina, en ellas se presentan los accesorios y los insumos que se compraron y cómo se fueron instalando hasta presentar en la Figura 48 el Módulo Automatizado de Fluidos modificado como resultado del diseño propuesto en este proyecto.



Figura 48 Intervención módulo de tanques



Figura 49 Accesorios de tubería



Figura 50 Soldadura y acondicionador pvc



Figura 51 Unión de Accesorios



Figura 52 Montaje válvula 2 y T



Figura 53 Conexión de accesorios



Figura 54 Instalación válvula 1

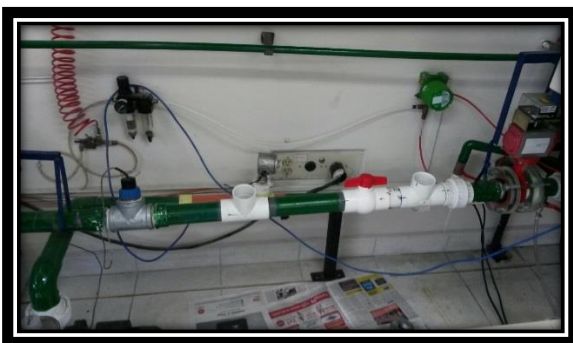


Figura 55 Unión línea principal



Figura 56 Instalación accesorios para intercambiador



Figura 57 Conexión válvula 3



Figura 58 Instalación final

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

En el presente proyecto se ha desarrollado un modelo de un banco experimental para un intercambiador de calor, con el fin de servir de apoyo a la docencia y aprendizaje de la teoría de transferencia de calor.

Para lograr este el objetivo fundamental se ha realizado un modelo de cada uno de los elementos que componen nuestro sistema, utilizando el software de diseño Creo Parametric®. Este modelo ha sido realizado a partir de una serie de componentes los cuales fueron medidos físicamente y otros gracias a las especificaciones técnicas brindadas por los fabricantes.

La principal conclusión del proyecto es que se puede demostrar que este tipo de software puede ser extremadamente útil en el campo de la enseñanza debido a las infinitas posibilidades que poseen. Se puede modelar todo tipo de piezas con su geometría real, así como realizar un completo ensamble con sus respectivas medidas reales y asimismo poder brindar una serie de planos con los cuales se puede instalar.

Para lograr identificar la necesidad que posee la academia en cuanto a las ciencias térmicas, se debe hacer una detallada entrevista con los docentes encargados de esta área, para así lograr obtener una gran cantidad de puntos de vista sobre las falencias que se poseen en esta rama de las ciencias térmicas, al igual que la opinión de los estudiantes para poder encaminar la investigación en un tema específico, para lograr un diseño adecuado del sistema y para su posterior diseño.

Gracias a esta investigación se conoce, los diseños realizados por otros investigadores a nivel mundial y cuál es el fin del mismo, así como los elementos básicos que debe contener

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

este sistema, para también poder realizar una estimación de los elementos que se deben adquirir.

Para lograr definir las capacidades del banco, se realiza una estimación se apoya en la investigación anterior para conocer las variables que se necesitan medir y manipular en el sistema (presión, temperatura, caudal), los tipos de material de los elementos que lo componen (acero inoxidable, PVC, madera, etc.), como también de las especificaciones de estos componentes (rango de medición, dimensiones, tipo de acople para instalar, referencia comercial), obteniendo una apreciación de los elementos básicos que deben conseguirse.

Para obtener las opciones de diseño se recurre al laboratorio de Fluidos, para identificar el espacio disponible para la instalación del banco experimental, con esto se obtiene el criterio para proceder a seleccionar y cotizar, cada uno de los elementos que estarán instalados físicamente en nuestro proyecto, con su respectiva referencia y tipo de material consultado en el catálogo de cada fabricante, con ello se va a conocer las posibles ubicaciones y configuraciones que será viable diseñar para este banco experimental. Luego se obtiene un diseño útil y conforme, de acuerdo al espacio encontrado en el Módulo de Tanques, el cual obedece a las especificaciones idóneas, para el funcionamiento del banco experimental, ganando así una serie de elementos de instrumentación y funcionamiento que ya no son necesarios adquirir (flujómetros, bomba, tanques, suministro de agua, conexión eléctrica, sistema de control y potencia), con lo cual es necesario hacer una intervención del Módulo de Tanques, realizando un bypass en la línea del módulo, que desplaza el agua desde el tanque 2 al tanque 1, donde tiene parte nuestro banco experimental.

Luego de tomar las mediciones físicas del espacio donde se instalara nuestro banco experimental, se diseña el soporte en el cual reposa nuestro intercambiador de calor, teniendo en cuenta el modelo 3D del intercambiador, así con esto se procede a diseñar cada pieza del sistema de Módulo de Tanques, que serán intervenidas durante la instalación del banco experimental (tanque 1, tanque 2, bomba, soporte de tanques, medidores de flujo,

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

etc.), al igual que las piezas que son adquiridas en los catálogos (válvulas de 2", accesorios de PVC, intercambiador, manómetros, etc.), no obstante se tiene en cuenta que solo será posible realizar una configuración del sistema de banco experimental, ya que el espacio disponible solo brinda una posible configuración, así mismo se realizara este diseño, que permite, futuras intervenciones del sistema.

Los modelos creados en Creo Parametric® requieren que el usuario posea un conocimiento avanzado del software CAD en el que se va a implementar el diseño, en especial de las herramientas para el manejo de modelos y ensamblajes avanzados. Estas características hacen que la mano de obra sea más costosa debido al alto grado de especialización, pero estos costos son eventualmente recuperados por el ahorro en tiempo al implementar cambios, por esto se diseña cada elemento del sistema, se ensambla y se obtiene un modelo 3D, del banco experimental instalado, junto con el sistema de Módulo de Tanques intervenido.

Con este modelo se procede a tomar las respectivas dimensiones y ubicación de los elementos que se instalaran, para así derivar en los procesos necesarios para obtener dichas características de instalación (longitudes, diámetros, posición de instalación, acople, tipo de unión), lo cual facilita el tiempo de intervención del Módulo de Tanques y permite un ensayo, para el trabajo del módulo normalmente o si se requiere del trabajo del banco experimental, donde permite comprobar de la dirección y flujo del agua a través del intercambiador de calor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

REFERENCIAS

- Turbotec Products, Inc. . (2010). *Pool-Safe*. (Turbotec Products, Inc.) Recuperado el 2014, de <http://www.turbotecproducts.com/ProductPoolSafe.html>
- Conte, I., & Peng, X. F. (2009). Numerical and experimental investigations of heat transfer performance of rectangular coil heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1799-1808.
- García San José, R. (2008). *Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y ACS en edificios de viviendas: Información y consejos para las comunidades de vecinos*. Madrid (España): IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Ghorbani, N., Taherian, H., Gorji, M., & Mirgolbabaee, H. (2010). Experimental study of mixed convection heat transfer in vertical helically coiled tube heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 900-905.
- Jayakumar, J., Mahajani, S. M., Mandal, J., Vijayan, P. K., & Bhoi, R. (2008). Experimental and CFD estimation of heat transfer in helically coiled heat exchangers. *chemical engineering research and design*, 86, 221-232.
- Kannadasan, N., Ramanathan, K., & Suresh, S. (2012). Comparison of heat transfer and pressure drop in horizontal and vertical helically coiled heat exchanger with CuO/water based nano fluids. *Experimental Thermal and Fluid Science* 42, 64-70.
- Kumar, V., Saini, S., Sharma, M., & Nigam, K. (2006). Pressure drop and heat transfer study in tube-in-tube helical heat exchanger. *Chemical Engineering Science*, 61, 4403-4416.
- Rane, M. V., & Tandale, M. S. (2005). Water-to-water heat transfer in tube-tube heat exchanger: Experimental and analytical study. *Applied Thermal Engineering* 25, 2715-2729.
- Sekhara Reddy, M., & Vasudeva Rao, V. (14 de Noviembre de 2013). Experimental investigation of heat transfer coefficient and friction factor of ethylene glycol water based TiO₂ nanofluid in double pipe heat exchanger with and without helical coil inserts. *ScienceDirect*, 68-76.
- Shokouhmand, H., Salimpour, M., & Akhavan-Behabadi, M. (2008). Experimental investigation of shell and coiled tube heat exchangers using wilson plots. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35, 84-92.
- Srinivasan, S., Nadapurkar, S., & Holland, F. A. (1970). Friction factors for coils. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 48, 156-161.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Wang, S., Wen, J., Yang, H., Xue, Y., & Tuo, H. (18 de Marzo de 2014). Experimental investigation on heat transfer enhancement of a heat exchanger with helical baffles through blockage of triangle leakage zones. *Applied Thermal Engineering* 67, 122-130.

Wu, Z., Wang, L., & Sundén, B. (2013). Pressure drop and convective heat transfer of water and nanofluids in a double-pipe helical heat exchanger. *Applied Thermal Engineering* 60, 266-274.

Zachár, A. (2010). Analysis of coiled-tube heat exchangers to improve heat transfer rate with spirally corrugated wall. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 3928-3939.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

FIRMA ESTUDIANTES 

FIRMA ASESOR 



FECHA ENTREGA: 21-08-2015

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: _____