



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

REHABILITACIÓN Y MEJORA DE UN EQUIPO DE
TRANSFERENCIA DE CALOR PARA MEDICIONES
CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA

ALEJANDRO GARCÍA NOGUEZ

ASESOR

M. EN C. JORGE VÁZQUEZ CERVANTES



CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL,
ESTADO DE MÉXICO, 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia por el apoyo que me brinda en todo momento, a mi primo Hugo Rodríguez y su esposa Aurora Román, a mis hermanos Juan Carlos y José Ángel. Especialmente quiero agradecer a mi mamá Yolanda Noguez y mi abuelita María de la Luz Romero por sus enseñanzas y apoyo incondicional, por ser las principales en creer en mí, sus consejos y por cada una de sus palabras que me guiarán durante mi vida.

Agradezco mucho a mi asesor el M. en C. Jorge Vázquez por sus enseñanzas, paciencia, sabiduría y por liderar la presente tesis.

Agradezco a mis profesores, mis compañeros y a la universidad en general por todos los conocimientos que me han otorgado, y en memoria del Ing. Arturo Fragoso.

Contenido

Nomenclatura	1
Unidades básicas, derivadas y no pertenecientes al SI para las magnitudes que se verán	2
Factores de conversión	3
Relaciones de figuras	4
Relaciones de tablas	7
INTRODUCCIÓN	8
Marco teórico	10
Capítulo I Actualidad en los equipos de transferencia de calor	17
1.1 Tipos de intercambiadores. (Alfa de Occidente, 2020)	18
1.1.1 Intercambiadores de contacto directo.	18
1.1.2 Intercambiadores de contacto indirecto.	19
1.1.3 Intercambiadores alternativos.	19
1.1.4 Intercambiadores de superficie.	19
1.1.5 Intercambiadores de placas.	19
1.1.6 Intercambiadores de tubos.	19
1.1.1.1 Intercambiadores de flujos cruzados.	19
1.1.1.2 Intercambiadores de flujos paralelos.	20
1.1.1.3 Intercambiadores en equicorriente.	20
1.1.1.4 Intercambiadores en contracorriente.	20
1.1.7 Intercambiadores de tubería doble.	20
1.1.8 Intercambiadores enfriados por aire.	21
1.1.9 Intercambiadores de tipo placa.	21
1.1.10 Intercambiadores de casco y tubo.	22
1.2 Sistema de adquisición de datos. (National Instrumets, 2021)	23
1.2.1 ¿Qué es Adquisición de Datos?	23
1.2.2 Partes de un Sistema DAQ	24
1.2.2.1 ¿Qué es un Sensor?	24
1.2.2.2 ¿Qué es un Dispositivo DAQ?	24
1.2.2.3 ¿Cuál es la Función de la PC en un Sistema DAQ?	25
1.2.3 Importancia de un sistema de adquisición de datos.	26
1.3 Equipos de transferencia de calor en el mercado para el aprendizaje de la asignatura.	26
1.3.1 Equipos de transferencia de calor: Cussons Technology Ltd. (Cussons Technology, 2020)	26
1.3.1.1 Banco de transferencia de calor.	27
1.3.1.2 Unidad de intercambiador de calor.	28
1.3.2 Equipos de transferencia de calor PA Hilton. (PA Hilton, 2020)	30
1.3.2.1 Unidad de servicio de intercambiador de calor.	30
1.3.2.2 Intercambiador de calor de vapor a agua.	31
1.4 Equipo que se tiene a disposición de laboratorio.	32
Capítulo II Descripción del equipo y necesidades.	35
2.1 Características generales.	36
2.2 Experimentos que se pueden realizar.	36

2.3 Dimensiones generales del equipo.	37
2.4 Valores en los servicios requeridos.	37
2.5 Instalación.	37
2.6 Descripción general.	39
2.7. Condiciones encontradas en el equipo mediante inspección visual y arranque de prueba.	42
Capítulo III Programación de mantenimiento correctivo y proceso de reparación.	44
3.1 Rehabilitación del equipo: Actividades.	45
3.1.1 Inversión del proyecto	53
3.1.2 Proyección a futuro.	55
3.2 Procedimiento de la práctica para prueba. (Manual y prácticas ICW, 2019)	56
3.2.1 Medidas de seguridad.	56
3.2.2 Métodos para la realización de la práctica.	56
3.2.3 Procedimiento de preparación de válvulas para el fluido de calentamiento en el equipo ICW.	57
3.2.4 Procedimientos para suministros de fluidos.	57
3.2.5 Arranque del equipo.	57
3.2.6 Finalización y paro del equipo.	59
3.2.7 Recomendaciones.	60
Capítulo IV Cálculos requeridos para las prácticas	62
4.1 Análisis del Coeficiente Global de Transferencia de Calor.	63
4.1.1 Cálculo de Diferencia de Temperatura Media Logarítmica.	63
4.1.2 Cálculo del Área Media de la superficie de calentamiento.	65
4.1.3 Cálculo de flujo de calor.	67
Capítulo V Demostración del funcionamiento con y sin sistemas de adquisición de datos.	70
5.1 Demostración del funcionamiento sin sistema de adquisición de datos.	71
5.1.1 Prueba 1: Intercambio de calor en flujo paralelo: agua caliente / agua de enfriamiento.	71
5.1.2 Prueba 2: Intercambio de calor en contra flujo: agua caliente / agua de enfriamiento.	77
5.1.3 Prueba 3: Intercambio de calor en flujo paralelo: agua caliente / aire de enfriamiento.	81
5.1.4 Prueba 4: Intercambio de calor en contra flujo: agua caliente / aire de enfriamiento.	85
5.1.5 Prueba 5: Intercambio de calor en flujo paralelo: agua caliente / agua de enfriamiento.	90
5.1.6 Prueba 6: Intercambio de calor en contra flujo: agua caliente / agua de enfriamiento.	94
5.2 Demostración del funcionamiento con adquisición de datos	100
Conclusión	107
Anexo A	109
Anexo B	115
Anexo C	123
Bibliografía	127

Nomenclatura

Símbolo	Definición	Unidad SI
A_m	Área media de la superficie de enfriamiento del tubo interno	m^2
c_p	Calor específico a presión constante	$\frac{kJ}{kg * ^\circ C}$
\dot{Q}	Cantidad de flujo de energía	KW
U	Coefficiente global de transferencia de calor	$\frac{kW}{m^2 * ^\circ C}$
ρ_c	Densidad del fluido de enfriamiento	$\frac{kg}{m^3}$
d_o	Diámetro exterior del tubo de calentamiento	mm
d_i	Diámetro interno del tubo de calentamiento	mm
d_m	Diámetro medio logarítmico	m
ΔT_i	Diferencia de temperaturas iniciales	$^\circ C$
ΔT_f	Diferencia de temperatura finales	$^\circ C$
\dot{m}_c	Flujo másico del fluido de enfriamiento	$\frac{kg}{s}$
\dot{V}_c	Flujo volumétrico del fluido de enfriamiento	L/h
l	Longitud de la superficie de enfriamiento del tubo interno	m
T_a	Mayor diferencia de temperatura	$^\circ C$
T_b	Menor diferencia de temperatura	$^\circ C$
n	Número de tubos	—
T_m	Temperatura media logarítmica	$^\circ C$
T_{iH}	Temperatura inicial del fluido de calentamiento	$^\circ C$
T_{iC}	Temperatura inicial del fluido de enfriamiento	$^\circ C$
T_{fH}	Temperatura final del fluido de calentamiento	$^\circ C$
T_{fC}	Temperatura final del fluido de enfriamiento	$^\circ C$

Unidades básicas, derivadas y no pertenecientes al SI para las magnitudes que se verán

Magnitud	Nombre	Unidad
Longitud	Metro	<i>m</i>
	Milímetro	<i>mm</i>
Área	Metro cuadrado	<i>m²</i>
	Milímetro cuadrado	<i>mm²</i>
Volumen	Metro cúbico	<i>m³</i>
	Milímetro cúbico	<i>mm³</i>
	Litro	<i>L</i>
Tiempo	Segundo	<i>s</i>
	Minuto	<i>min</i>
	Hora	<i>h</i>
Masa	Kilogramo	<i>kg</i>
Densidad	Kilogramo sobre Metro cúbico	<i>kg/m³</i>
Fuerza	Newton	<i>N</i>
Presión	Pascal	<i>Pa</i>
	Bar	<i>bar</i>
Energía y calor	Joule	<i>J</i>
	Caloría	<i>cal</i>
Velocidad de transferencia de calor	Kilowatts	<i>kW</i>
Temperatura	Grados Celsius	<i>°C</i>
	kelvin	<i>K</i>

Factores de conversión

Longitud $1 \text{ metro [m]} = 1000 \text{ [mm]}$

Área $1 \text{ [m}^2\text{]} = 1 \times 10^6 \text{ [mm}^2\text{]}$

Volumen $1 \text{ [m}^3\text{]} = 1 \times 10^9 \text{ [mm}^3\text{]}$
 $1000 \text{ [L]} = 1 \text{ [m}^3\text{]}$

Tiempo $1 \text{ [h]} = 60 \text{ [min]} = 3600 \text{ [s]}$

Masa $1 \text{ [kg]} = 1000 \text{ [g]}$

Densidad $1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 1 \left[\frac{\text{g}}{\text{L}} \right]$

Fuerza $1 \text{ [N]} = 1 \left[\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$

Presión $1 \text{ [Pa]} = 1 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$
 $1 \text{ [Pa]} = 1 \times 10^{-5} \text{ [bar]}$

Energía y calor $1 \text{ [J]} = 0.2389 \text{ [cal]} = 1 \text{ [N} \cdot \text{m]}$

Velocidad de transferencia de calor $1 \text{ [kW]} = 1 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$

Temperatura $[\text{K}] = [^\circ\text{C}] + 273.15$

Relaciones de figuras

Figura 1. Los tres métodos de transferencia de calor: (a) conducción, (b) convección y (c) radiación. (Tippens, 2011)	11
Figura 2. Resistencia térmica total de varias resistencias en serie (muro de un edificio). (Pita, 2004)	13
Figura 3. Perfil de las temperaturas en un evaporador de refrigerante. (Pita, 2004).	15
Figura 4. Perfiles de las temperaturas correspondientes al flujo paralelo y al contraflujo en un cambiador de calor (ambos fluidos cambian su temperatura). (a) Flujo paralelo. (b) Contraflujo. (Pita, 2004)	16
Figura 5. Torres de enfriamiento de tiro inducido y tiro forzado (disposición a contraflujo). (a) Tiro inducido (a contraflujo). (b) Tiro forzado (a contraflujo). (Pita, 2004)	18
Figura 6. Intercambiador de tubería doble. 1. Prensaestopas tubo exterior, 2. T de conexión, 3. Unión roscada, 4. Codo en U, 5. Prensa estopas tubo interno, 6. Tubo conector, 7. Tubo interior, 8. Entrada tubo interno, 9. Salida tubo externo, 10. Prensaestopas de paso, 11. Entrada tubo externo, 12. Tubo externo, 13. Salida tubo externo. (SOUTULLO, s.f.)	20
Figura 7. Intercambiador de calor enfriado por aire. (SOUTULLO, s.f.)	21
Figura 8. Intercambiador de calor tipo placa. (SOUTULLO, s.f.)	21
Figura 9. Intercambiador de coraza (casco) y tubo. (SOUTULLO, s.f.)	22
Figura 10. Partes de un sistema DAQ. (National Instrumets, 2021)	23
Figura 11. Banco de Transferencia de Calor Cussons P3210. (Cussons Technology, 2020)	27
Figura 12. Intercambiador de calor Cussons P3400. (Cussons Technology, 2020)	29
Figura 13. Unidad H102E Servicio de Intercambiador de Calor. (PA Hilton, 2020)	30
Figura 14. Intercambiador de calor de tubo concéntrico. (PA Hilton, 2020)	31
Figura 15. Equipo intercambiador de calor de flujo cruzado. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)	32
Figura 16. Equipo Torre de enfriamiento. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)	33
Figura 17. Equipo de radiación y convección de energía. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)	33
Figura 18. Equipo de transferencia de calor por radiación y convección de energía. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)	34
Figura 19. a) Vista física del equipo Intercambiador de calor Wards Steam, b) vista lateral mostrando el conjunto de intercambiadores de calor atrás del equipo. (Elaboración propia)	39
Figura 20. Esquema de circulación de los fluidos. (Manual y prácticas ICW, 2019)	40
Figura 21. Diagrama de Gantt. Actividades realizadas por tiempo. (Elaboración propia)	46
Figura 22: Termostato de las resistencias eléctricas. (Elaboración propia)	55
Figura 23. Gráfica 1, Intercambio de calor en flujo paralelo. (Manual y prácticas ICW, 2019)	72
Figura 24. Gráfica 2, Intercambio de calor en contraflujo. (Manual y prácticas ICW, 2019)	78
Figura 25. Gráfica 3, Intercambio de calor en flujo paralelo. (Manual y prácticas ICW, 2019)	82

Figura 26. Gráfica 4, Intercambio de calor en contraflujo. (Manual y prácticas ICW, 2019)	86
Figura 27. Gráfica 5, Intercambio de calor en flujo paralelo. (Elaboración propia)	91
Figura 28. Gráfica 6, Intercambio de calor en contraflujo. (Elaboración propia)	95
Figura 29. Bornera de la DAQ. (Elaboración propia)	101
Figura 30. Diagrama de bloques. (Lugo Figueroa, 2020)	101
Figura 31. Panel frontal. (Lugo Figueroa, 2020)	102
Figura 32. Botón de encendido. (Lugo Figueroa, 2020)	102
Figura 33. Selección del número de pasos. (Lugo Figueroa, 2020)	102
Figura 34. Selección de combinación de fluidos. (Lugo Figueroa, 2020)	103
Figura 35. Botón de Lectura. (Lugo Figueroa, 2020)	103
Figura 36. Botón de Guardar. (Lugo Figueroa, 2020)	103
Figura 37. Botón de e-mail. (Lugo Figueroa, 2020)	104
Figura 38. Botón de manual/auto. (Lugo Figueroa, 2020)	104
Figura 39. Termopares y bornera. (Lugo Figueroa, 2020)	105
Figura 40. Panel frontal ejecutando una prueba. (Elaboración propia)	106
Figura 1. Anexo A. Bomba antes del mantenimiento. La bomba se encontraba averiada, se prosiguió a desmantelarla para conocer el problema. (a) y (b) desmantelación de bomba. (c) sello y empaque de la bomba. (Elaboración propia)	109
Figura 2. Anexo A. Tanque de calentamiento. (a) tanque de calentamiento antes del mantenimiento. (b) extracción del aislante del tanque y comprobación del anclamiento del tanque al equipo. (c) y (d) ubicación de la fuga del tanque por corrosión. (Elaboración propia)	110
Figura 3. Anexo A. Válvulas. (a) juego de válvulas que hacen el cambio de método de prueba con incrustación. (b) válvula reguladora de vapor desmontada por fuga (c) válvula con presente fuga de agua. (Elaboración propia)	111
Figura 4. Anexo A. Tanque elevado. Las figuras siguientes muestran las condiciones encontradas del tanque elevado (a) tanque elevado con tubería de alimentación de agua. (b) interior del tanque que muestra el flotador y rebosadero. (c) interior del tanque que muestran la válvula del flotador. (Elaboración propia)	112
Figura 5. Anexo A. Cable de suministro y fusible de un arrancador. (a) muestra los cables quemados en la clavija. (b) arrancador con “diablitos”. (Elaboración propia)	112
Figura 6. Anexo A. Tablero de medición digital de temperatura. (a) se muestra el hueco del medidor digital de temperatura y la caja de cuchillas en la parte inferior (b) muestra cada uno de los termopares conectados para la medición digital, además que se observan los bancos de fusibles en el interior. (Elaboración propia)	113
Figura 7. Anexo A. Tablero de cuchillas. (a) y (b) se muestran las cuchillas sucias y oxidadas. (Elaboración propia)	113
Figura 8. Anexo A, Termómetros bimetálicos de carátula. (Elaboración propia)	114
Figura 9. Anexo A. Sin medidor de flujo de aire. (Elaboración propia)	114

Figura 1. Anexo B. Instalación de soportes al equipo. (a) estructura tubular soldada al equipo ICW. (b) plano donde se muestra cómo quedará el equipo con los soportes. (Elaboración propia)	115
Figura 2. Anexo B. Reparación del tanque de calentamiento. (a) eliminación del sistema de desagüe. (b) manipulación del tanque de calentamiento con ayuda de la grúa del laboratorio para su limpieza interior. (c) sellado por soldadura del hueco que dejó la eliminación del sistema desagüe para evitar fuga de agua. (d) sustracción de las incrustaciones, basura y suciedad del tanque. (e) preparación del tanque para la adaptación de la base que correrá por los rieles. (f) colocación del nuevo sistema para la extracción del agua al finalizar la práctica. (g) colocación del tanque ya actualizado en su lugar original. (Elaboración propia)	117
Figura 3. Anexo B. Rieles para la manipulación del tanque de calentamiento. (Elaboración propia)	118
Figura 4. Anexo B. Bomba para flujo de agua caliente. (a) y (b) prueba del funcionamiento de la bomba. (Elaboración propia)	119
Figura 5. Anexo B. Resistencias eléctricas de calentamiento. (a) termostato de las resistencias eléctricas. (b) resistencias eléctricas en buen estado con un poco de suciedad. (Elaboración propia)	119
Figura 6. Anexo B. Reparación de tubería. (a) reparación de la válvula de alimentación de agua de la red. (b) reparación de la tubería de cobre donde circula agua de red. (Elaboración propia)	120
Figura 7. Anexo B. Revisión de la instalación eléctrica. Eliminación del “diablitos” por fusibles en los arrancadores. (Elaboración propia)	120
Figura 8. Anexo B. Recuperación del tanque elevado de alimentación. (a) extracción del tanque para su mantenimiento. (b) instalación del tanque después del mantenimiento. (Elaboración propia)	121
Figura 9. Anexo B. Instalación del Sistema de Adquisición de Datos. (a) Instalación de cables tipo j para la toma de lecturas de temperatura en las DAQs, de la bornera de toma digital. (b) y (c) se muestra cada cable que posee su respectivo número de termopar y color, en la bornera de la DAQ. (Elaboración propia)	122

Relaciones de tablas

<i>Tabla 1. Sensores Comunes. (National Instrumets, 2021)</i>	24
<i>Tabla 2. Códigos esquemáticos del equipo. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	41
<i>Tabla 3. Datos conocidos del equipo por los fabricantes. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	41
<i>Tabla 4. Condiciones del equipo antes de la rehabilitación. (Elaboración propia)</i>	42
<i>Tabla 5. Actividades realizadas. (Elaboración propia)</i>	45
<i>Tabla 6. Actividades de rehabilitación. (Elaboración propia) Ver figuras en el Anexo B.</i>	47
<i>Tabla 7. Inversión. (Elaboración propia)</i>	54
<i>Tabla 8. Datos de la prueba 1. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	71
<i>Tabla 9. Lectura de temperaturas de la prueba 1. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	72
<i>Tabla 10. Datos de la prueba 2. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	77
<i>Tabla 11. Lectura de temperaturas de la prueba 2. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	77
<i>Tabla 12. Datos de la prueba 3. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	81
<i>Tabla 13. Lectura de temperaturas de la prueba 3. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	81
<i>Tabla 14. Datos de la prueba 4. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	85
<i>Tabla 15. Lectura de temperaturas de la prueba 4. (Manual y prácticas ICW, 2019)</i>	86
<i>Tabla 16. Datos de la prueba 5. (Elaboración propia)</i>	90
<i>Tabla 17. Lectura de temperaturas de la prueba 5. (Elaboración propia)</i>	90
<i>Tabla 18. Datos de la prueba 6. (Elaboración propia)</i>	94
<i>Tabla 19. Lectura de temperaturas de la prueba 6. (Elaboración propia)</i>	95
<i>Tabla 20. Resultados de las pruebas. (Elaboración propia)</i>	99

INTRODUCCIÓN

La presente tesis es un “Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME” con clave del Proyecto PE100319.

La rehabilitación del equipo de transferencia de calor es para fortalecer el conocimiento práctico-experimental del estudiante dentro de la asignatura de “Transferencia de calor”. La recuperación del equipo tendrá la opción de obtener mediciones directas e indirectas, la medición directa será la mejora del equipo mediante un sistema de adquisición de datos.

La licenciatura en Ingeniería Mecánica de la FES Aragón de la UNAM proyecta la apertura de un nuevo laboratorio en su nuevo plan de estudios, para la asignatura de “Trasferencia de Calor”, que actualmente no cuenta con laboratorio. Dentro del laboratorio L2 “Térmica y Fluidos” de la FES Aragón se cuenta con cuatro equipos de transferencia de calor que se encuentran en servicio, el equipo Wards Steam se encontró en exhibición, este equipo sería el quinto en servicio para la formación académica del estudiante.

El equipo Wards Steam en el que se va a trabajar cuenta con un sistema de transferencia de calor de tubos concéntricos y con posibilidad de cambiar el flujo de fluidos en paralelo a contraflujo o viceversa y cuenta con posibilidad de emplear cuatro fluidos diferentes que son: para calentamiento agua y vapor de agua saturado, para enfriamiento aire y agua.

El equipo a que se hace referencia está inhabilitado por diversas razones, entre ellas es una bomba para el agua que está atorada, tanque para el agua caliente con fugas y de difícil acceso para efectuar alguna reparación. El equipo al haber sido funcional, apoyó a los estudiantes en la determinación del coeficiente de transferencia de calor, el cual es un valor muy importante para el diseño de intercambiadores de calor.

El análisis de la transferencia de calor en equipos industriales siempre ha requerido de las mediciones inherentes a la temperatura, y conocer las propiedades de los materiales así como del medio ambiente que los rodea. Actualmente la toma de lectura de la temperatura ha conducido al aprovechamiento de las mediciones de propiedades con el mili-voltaje producido por el contacto directo entre metales diferentes (caso de los termopares), mismo mili-voltaje que está relacionado proporcionalmente con la temperatura del ambiente donde hace contacto el extremo del termopar.

Al ser medible la diferencia de voltaje dado por termopares, se ha conducido la medición de temperaturas al empleo del Sistemas de Adquisición de Datos (SAD) y las correspondientes tarjetas DAQ (Data Acquisition Query), que reciben la señal

del mili-voltaje, la traducen a lenguaje de computadora y se procesa la información, para representarla mediante valores numéricos o bien mediante gráficas, que muestran la relación de transferencia de calor y con ello su comportamiento en lapsos de tiempo, definidos por el usuario. La diferencia esencial de utilizar la Adquisición de Datos radica en la rapidez de lectura que se puede considerar en tiempo real y la seguridad de las lecturas sin intervenir directamente en los equipos a censar, evitando riesgos físicos al personal que opera los equipos.

Con la incorporación del sistema de adquisición de datos se actualizará el manual de prácticas del equipo.

Con base en los párrafos anteriores, se tienen establecidos los siguientes objetivos:

Objetivo general. Mejorar el equipo de “Transferencia de Calor, marca Wards Steam” del Laboratorio L2 de Térmica y Fluidos de la FES Aragón, mediante su rehabilitación y actualización. Para el laboratorio de la asignatura de “Transferencia de calor” del nuevo plan de estudios de la licenciatura en Ingeniería Mecánica.

Objetivos específicos.

- Recuperar el equipo de Transferencia de Calor que se encuentra en exhibición dentro del laboratorio L2
- Modificar el equipo con enfoque a la adaptación de un sistema de adquisición de datos.
- Con la instalación de un sistema DAQ. Proponer nueva práctica para el equipo de Transferencia de Calor.

Para el cumplimiento de los objetivos anteriores, se desarrollan los cinco capítulos de esta tesis, donde el primero muestra la actualidad de los intercambiadores de calor y sus disposiciones de acuerdo a la aplicación en algunos casos, además de lo que se debe de conocer de un sistema DAQ, equipos que ofrecen las empresas líderes en la enseñanza ingenieril, y los equipos que se tienen en laboratorio.

En el segundo capítulo, se proporciona la descripción detallada del equipo a rehabilitar, con base en el levantamiento de las condiciones encontradas y con ello la planificación de las actividades a realizar mostrada durante el capítulo tres. En el tercer capítulo se describirá las actividades de rehabilitación y el razonamiento de porqué se realiza cada actividad.

En el capítulo cuatro, se muestran las ecuaciones necesarias para la determinación del coeficiente de transferencia de calor y que son requeridas para realizar pruebas.

Para el capítulo cinco se realiza la demostración del funcionamiento del equipo e instrucciones para prácticas con el sistema de adquisición de datos.

Marco teórico

La transferencia de calor constituye un proceso esencial en la industria, por ejemplo: en la industria alimenticia, plantas generadoras de electricidad, industria química, industria de aire acondicionado, calefacción y refrigeración, entre muchas otras más. En los procesos industriales se lleva a cabo la producción o absorción de energía en forma de calor; se invierte mucho calentando los fluidos y en ocasiones es necesario recuperar el calor con el objetivo de ahorrar.

En este apartado, se analizarán algunos principios básicos referentes a la transferencia de calor. Es necesario poseer estos conocimientos para poder conocer el funcionamiento de los cambiadores de calor, y así, determinar la mejor manera de operarlos.

Formas de transferencia de calor. (Pita, 2004)

Se define el calor como la forma de energía que se transfiere de un cuerpo a otro, como resultado de una diferencia de temperaturas entre los mismos. La transferencia de calor puede tener lugar en tres formas distintas: conducción, convección y radiación.

- **Conducción:** Es la forma de transferencia de calor a través de un cuerpo, y que tiene lugar sin movimiento alguno de dicho cuerpo, es el resultado de una acción molecular o eléctrica. La conducción es muy común en la transferencia de calor a través de los sólidos.
 - Ejemplo:
Cuando el cuerpo metálico de una olla se calienta en una estufa, el calor fluye por el mango, para llegar hasta la mano. La transferencia de calor por conducción puede tener lugar a través de los líquidos y los gases; sin embargo, en los fluidos puede ocurrir de una forma adicional de transferencia de calor, la cual se llama convección.
- **Convección:** Es la forma de transferencia de calor que resulta del movimiento total de los líquidos o los gases.
 - Ejemplo:
El calentador de agua, que calienta el aire encerrado en una habitación. El calor que transfiere al aire adyacente a la superficie metálica, aumentando su temperatura. Luego, este aire se mueve verticalmente hacia arriba, puesto que es menos denso (más ligero) que el aire circundante más frío. De este modo el aire se mueve continuamente por el espacio. Esta forma de convección se llama *convección natural*, debido a que el fluido se mueve por las fuerzas naturales de la gravedad, creada por la diferencia de densidad. La parte menos densa del fluido se eleva y la más densa (más pesada) desciende. El movimiento del fluido, creado por los efectos de la

convección natural generalmente es mínimo, y por consiguiente la transferencia de calor también es mínima. El movimiento del fluido, y por lo tanto, la transferencia de calor puede aumentarse utilizando un ventilador en el caso de los gases, o una bomba en el caso de los líquidos, a este tipo de convección se le llama *convección forzada*.

- **Radiación térmica:** Es la forma de transferencia de calor que se efectúa entre dos cuerpos separados, como resultado de un medio llamado radiación electromagnética, llamada a veces movimiento ondulatorio. Como sucede con todas las formas de transferencia de calor, un cuerpo debe hallarse a una temperatura más alta que el otro. El calor se transfiere entre los dos cuerpos, aun al existir un vacío (la ausencia de toda materia) entre ellos. Cuando un gas se encuentra presente entre los cuerpos, aún hay transferencia de calor, pero por lo general es una proporción menor. No obstante, la presencia de un objeto sólido opaco entre los cuerpos impedirá la radiación.
 - Ejemplo:
El calor que recibe nuestro cuerpo cuando permanece enfrente de un fuego y el calor que se recibe del sol.

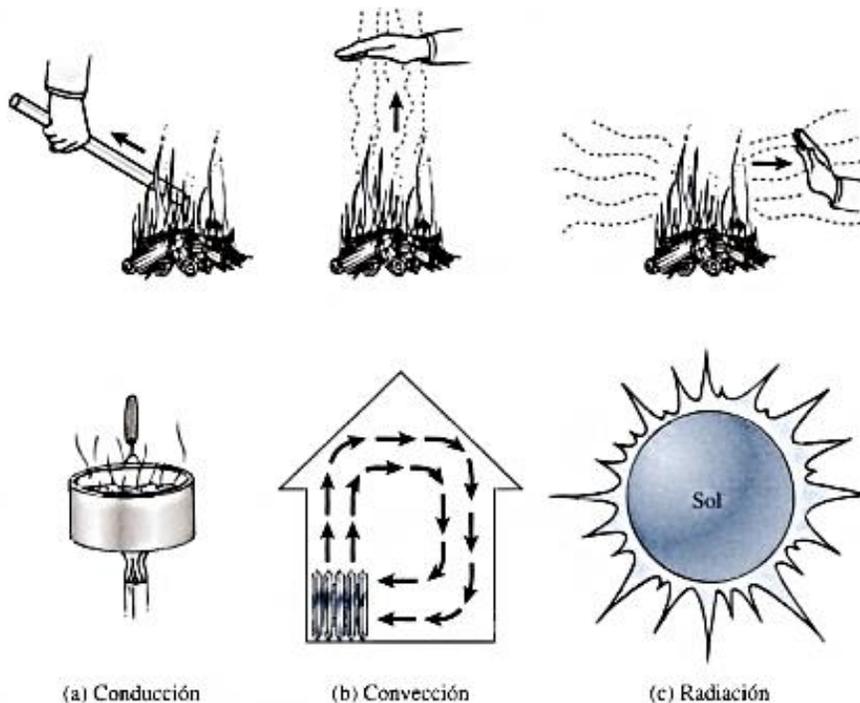


Figura 1. Los tres métodos de transferencia de calor: (a) conducción, (b) convección y (c) radiación. (Tippens, 2011)

Resistencia térmica

La transferencia de calor por conducción a través de un cuerpo se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\dot{Q} = \frac{1}{R} * A * DT \quad (\text{ecuación I})$$

En donde:

\dot{Q} = Transferencia de calor.

R = Resistencia térmica del cuerpo.

A = Área superficial del cuerpo a través del cual fluye el calor.

DT = Diferencia de temperatura a través del cuerpo.

$$\begin{array}{l} [kW] \\ \left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right] \\ [m^2] \\ [^\circ C] \end{array}$$

La resistencia térmica (R), es una propiedad de una sustancia que afecta la cantidad de calor transferido a través de la misma. Los materiales que tienen una elevada resistencia térmica transmiten el calor en una proporción baja. Los materiales cuyo valor de R es bajo, son buenos conductores de calor. Así que, la resistencia térmica es inversamente proporcional a la transferencia de calor.

La transferencia de calor es directamente proporcional al área superficial A . Si se desea aumentar la transferencia se tendría que ampliar el área de contacto. Asimismo es directamente proporcional la diferencia de temperatura (DT). Mientras mayor sea la diferencia de temperatura, mayor será la cantidad de calor transferido.

Resistencia y conductancia totales.

La transferencia de calor ocurre por lo general de un fluido a otro, a través de películas de fluidos y de sólidos, como la pared de un tubo metálico o la pared de un edificio, la resistencia térmica completa o total es, en tales casos, la suma de las resistencias individuales en serie, como se expresa en la siguiente ecuación II.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (\text{ecuación II})$$

En donde:

R_t = Resistencia térmica total.

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = Resistencias térmicas individuales.

$$\begin{array}{l} \left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right] \\ \left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right] \end{array}$$

Por ejemplo, si se tuviera el muro de un edificio compuesto de dos materiales en serie (uno después del otro) habrá cuatro resistencias individuales, incluyendo las películas de aire a ambos lados, como se muestra en la figura 2.

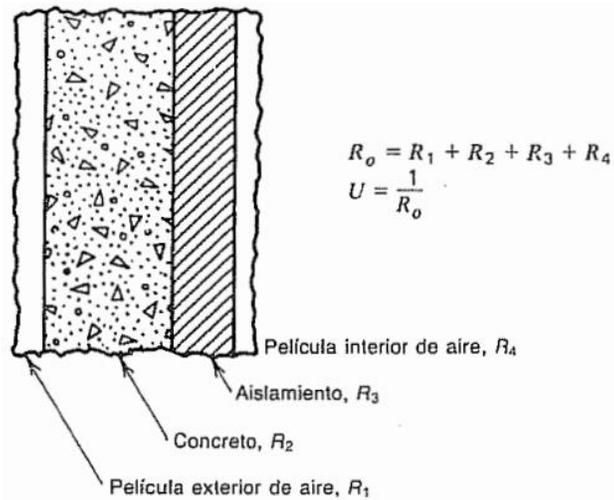


Figura 2. Resistencia térmica total de varias resistencias en serie (muro de un edificio). (Pita, 2004)

La conductancia térmica total (U), conocida también como el *coeficiente de transferencia total de calor*, se obtiene mediante la ecuación III:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (\text{ecuación III})$$

En donde:

U = Coeficiente de transferencia total de calor.

R_t = Resistencia térmica total.

$$\left[\frac{kW}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$\left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right]$$

La ecuación de transferencia de calor.

La siguiente ecuación IV se utiliza para calcular la *transferencia de calor por convección*, por ejemplo en los evaporadores de los enfriadores de líquido y en los condensadores enfriados por agua.

$$\dot{Q} = U * A * DTME \quad (\text{ecuación IV})$$

En dónde:

\dot{Q} = Transferencia de calor.

U = Coeficiente de transferencia total de calor.

A = Superficie de transferencia de calor de la tubería.

$DTME$ = Diferencia de temperaturas media efectiva entre fluidos.

$$[kW]$$

$$\left[\frac{kW}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$[m^2]$$

$$[^\circ C]$$

El significado de los términos de esta ecuación debe explicarse, cuando el refrigerante esta por fuera de los tubos (como en el caso de un enfriador inundado), el coeficiente de transferencia total de calor U se determina de la siguiente manera.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_r * r + R_w + R_f + R_l} \quad (\text{ecuación V})$$

En donde:

R_r = Resistencia de la película del fluido externo.	$\left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right]$
r = Relación entre el área exterior e interior del tubo.	$[-]$
R_w = Resistencia de la pared del tubo.	$\left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right]$
R_f = Resistencia del factor de incrustación.	$\left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right]$
R_l = Resistencia de la película del fluido interno.	$\left[\frac{m^2 * ^\circ C}{kW} \right]$

A diferencia de una pared plana, el área de una tubería es diferente en la superficie exterior e interior. En la *ecuación V* se utiliza la superficie interior del tubo. Es por esta razón que la resistencia de la película exterior se corrige multiplicándola por la relación entre la superficie exterior y la interior (r). Por supuesto que en el caso de un muro plano, $r = 1$.

Diferencia de temperatura media efectiva.

La temperatura de un fluido en un evaporador o condensador está en continuo proceso de cambio, y por consiguiente la diferencia de temperatura entre los dos fluidos no es constante, como se ve en la figura 3. Es preciso determinar el diferencial de temperatura media para ser utilizado en la ecuación IV. De primera intención, podría parecer que se debería utilizar la diferencia promedio aritmética de la temperatura. Sin embargo, esto no sucede así, debido a que la temperatura del fluido cambia con mayor rapidez al principio, y luego más gradualmente, como se indica. Se ha encontrado que la diferencia de temperatura media efectiva (DTME) para la transferencia de calor, conocida también como la diferencia de temperatura media logarítmica, (DTML) es igual a:

$$DTME = \frac{DT_A - DT_B}{Ln \left(\frac{DT_A}{DT_B} \right)} \quad (\text{ecuación VI})$$

En donde:

$DTME$ = Diferencia de temperatura media efectiva para la transferencia de calor. [°C]

DT_A = Diferencia de temperatura en un extremo del cambiador de calor. [°C]

DT_B = Diferencia de temperatura en el otro extremo del cambiador de calor. [°C]

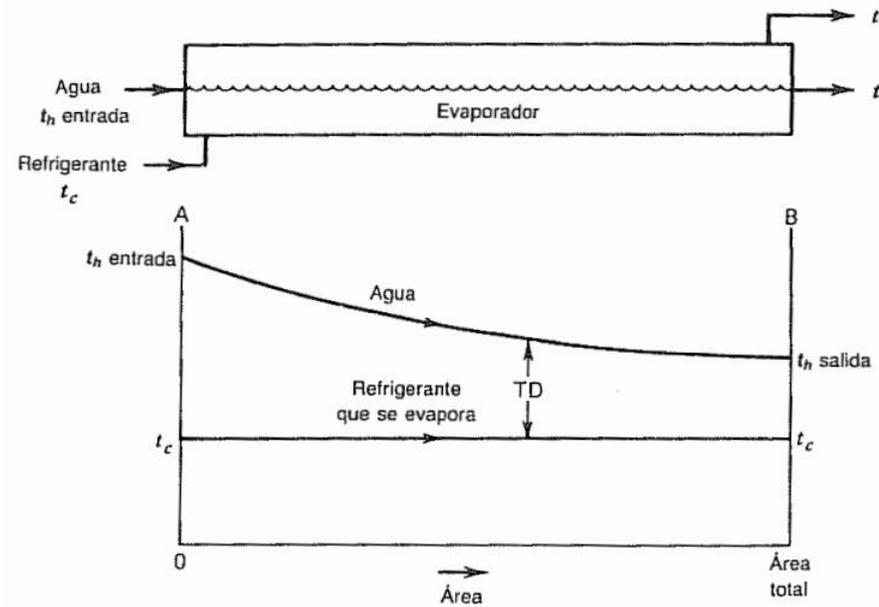


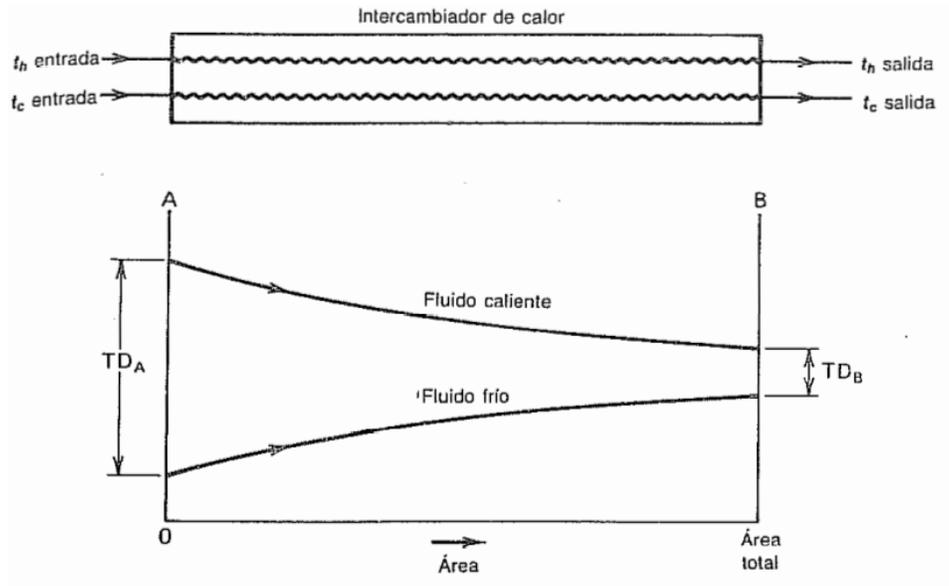
Figura 3. Perfil de las temperaturas en un evaporador de refrigerante. (Pita, 2004).

Contraflujo y flujo paralelo.

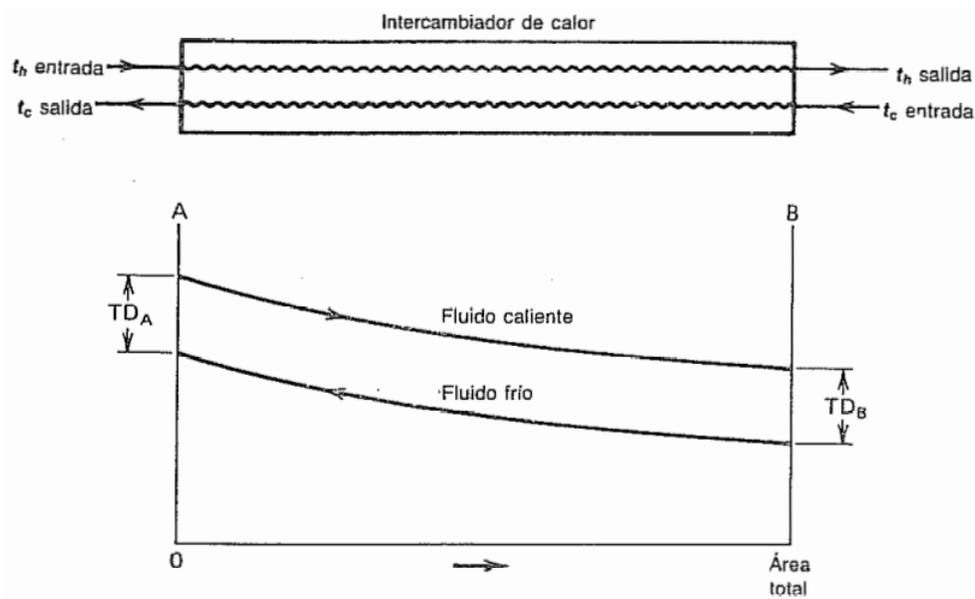
Cuando los dos fluidos circulan en la misma dirección en un cambiador de calor, se dice que se trata de un flujo paralelo. Cuando fluyen en direcciones opuestas, se dice que la disposición es a contraflujo. Ambas disposiciones se muestran en la figura 4, para un cambiador de calor de casco y tubos, en donde cambia la temperatura de ambos fluidos. En el caso del flujo paralelo, los fluidos entran y salen por el mismo extremo del cambiador de calor; en el caso del contra flujo, los fluidos entran y salen por lados opuestos.

En el caso de los cambiadores de calor en los cuales cambia la temperatura de ambos fluidos, como en los serpentines de agua fría para enfriar el aire, y en las torres de enfriamiento, la selección de la disposición de flujo paralelo o a contraflujo influye considerablemente tanto en la capacidad del equipo necesario como en el consumo de energía.

Para un conjunto dado de condiciones requeridas, el contraflujo dará por resultado un mayor valor de la DTME que el flujo paralelo. Esto quiere decir que se requerirá un área superficial menor (lo que representa un cambiador de calor de menor tamaño).



(a)

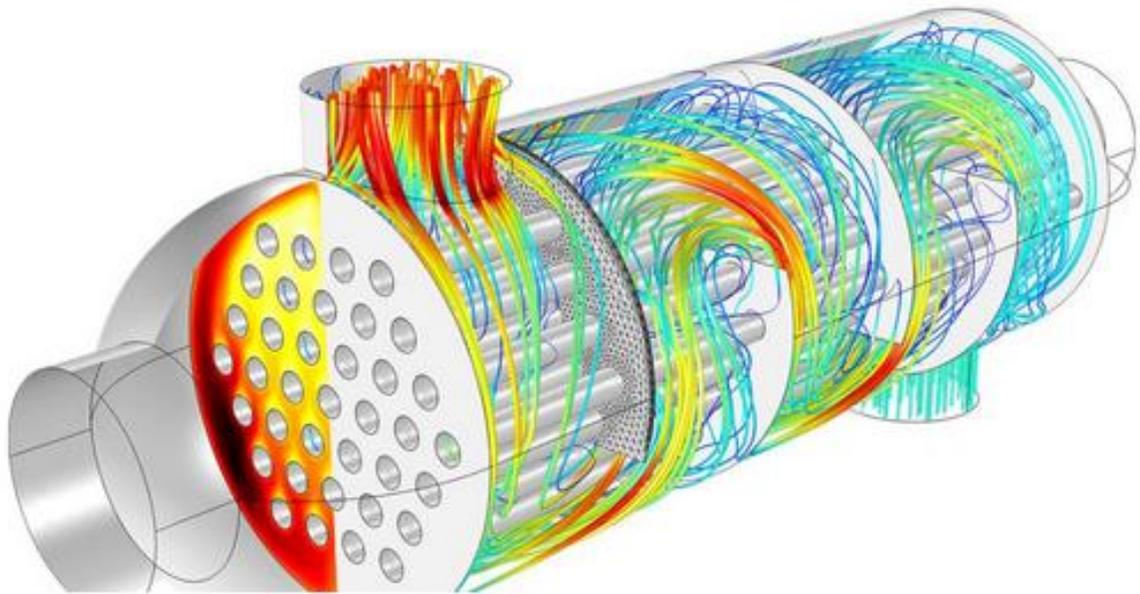


(b)

Figura 4. Perfiles de las temperaturas correspondientes al flujo paralelo y al contraflujo en un cambiador de calor (ambos fluidos cambian su temperatura). (a) Flujo paralelo. (b) Contraflujo. (Pita, 2004)

Capítulo I

Actualidad en los equipos de transferencia de calor



Los **intercambiadores de calor** son elementos que transfieren calor de un fluido a otro, por medio de una pared de contacto y con el propósito de un mayor o mejor aprovechamiento de ese calor. La evolución de los Intercambiadores de calor ha partido de las necesidades industriales, obteniendo una variedad de ellos, de los cuales se mencionan algunos a continuación.

1.1 Tipos de intercambiadores. (Alfa de Occidente, 2020)

La clasificación más común de los intercambiadores es atendiendo al grado de contacto entre los fluidos. Así, se distinguen los siguientes tipos:

1.1.1 Intercambiadores de contacto directo.

Estos hacen el trabajo del intercambio de calor que se hace por mezcla física de los fluidos. No son muy frecuentes dada la contaminación que supone para uno o para ambos fluidos. Sin embargo, hay veces que esto no importa, como en el caso de la torre de refrigeración, en las que el agua es enfriada por el aire atmosférico en un proceso combinado de transferencia de masa y de calor.

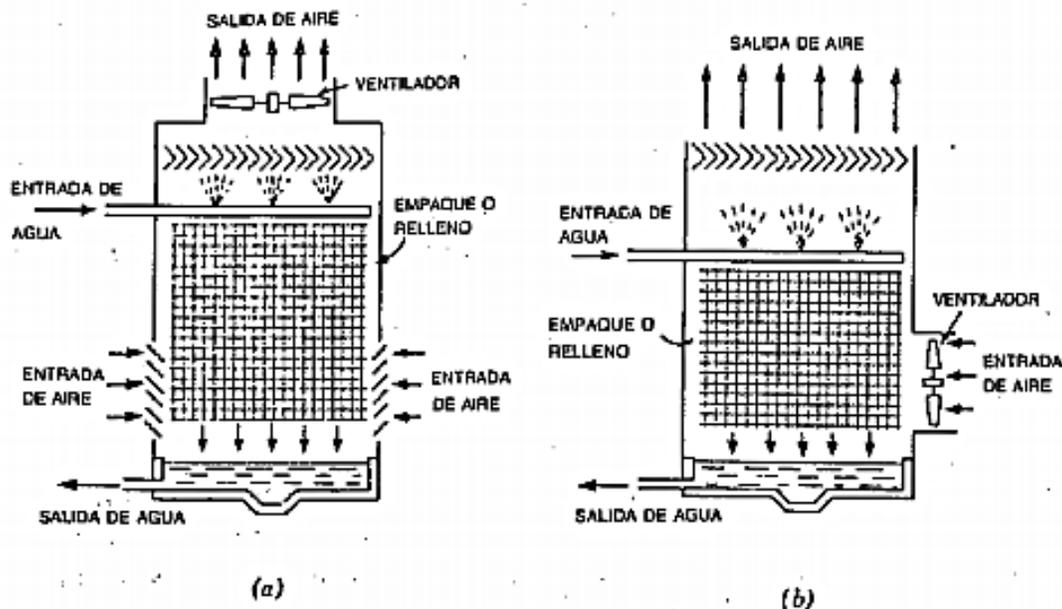


Figura 5. Torres de enfriamiento de tiro inducido y tiro forzado (disposición a contraflujo). (a) Tiro inducido (a contraflujo). (b) Tiro forzado (a contraflujo). (Pita, 2004)

1.1.2 Intercambiadores de contacto indirecto.

Estos intercambiadores de calor son aquellos en los que los fluidos no entran en contacto directo, no se mezclan, sino que están separados por un tabique sólido, un espacio o incluso un tiempo. El calor se transmite por convección y conducción a través de la pared separadora.

1.1.3 Intercambiadores alternativos.

En ellos, ambos fluidos recorren el mismo espacio de forma alternada, de forma que una superficie recibe el calor de un fluido caliente, para secuencialmente, transmitírselo a otro más frío, al contactar con la misma superficie. Existe un cierto contacto entre ambos fluidos, pero puede suponerse despreciable en los casos en los que la contaminación no es determinante. Cuando sí lo es, el uso de estos aparatos es inviable. Estos son acumuladores de calor.

1.1.4 Intercambiadores de superficie.

En ellos el proceso de transmisión de calor está invariablemente relacionado con la superficie de un sólido que los separa, de modo que no existe la posibilidad de contacto entre ellos. Son los más utilizados en todo tipo de aplicaciones y cuentan con una superficie separadora.

1.1.5 Intercambiadores de placas.

Son aquellos en los que la superficie de separación entre los fluidos es una pared plana. Son relativamente recientes, pero sus ventajas respecto de los clásicos multitubulares, están desplazando a estos en la mayoría de las aplicaciones, además son súper prácticos ya que cuentan con placas intercambiables, no ocupa soldarse para el cambio de las placas.

1.1.6 Intercambiadores de tubos.

En ellos la separación entre los fluidos es siempre la pared de un tubo cilíndrico, por cuyo interior circula uno de ellos, mientras el otro lo hace por el exterior. Si se atiende a la dirección del flujo de ambos fluidos a través de la superficie los tipos de intercambiadores de calor son:

1.1.1.1 Intercambiadores de flujos cruzados.

Cuando las corrientes de los dos fluidos, forman un ángulo entre sí. Son ideales cuando se hace un traslado de aceite.

1.1.1.2 Intercambiadores de flujos paralelos.

Cuando las corrientes de ambos fluidos discurren paralelas en la misma dirección. Atendiendo al sentido de circulación.

1.1.1.3 Intercambiadores en equicorriente.

Si ambas corrientes circulan en la misma dirección y en el mismo sentido.

1.1.1.4 Intercambiadores en contracorriente.

Si las dos corrientes siguen la misma dirección pero sentidos contrarios.

De acuerdo con la empresa Hidroterm (HIDROTEM, 2017), los tipos fundamentales de intercambiadores empleados en la industria de acuerdo con su estructura son los siguientes.

1.1.7 Intercambiadores de tubería doble.

(Al cual pertenece el equipo motivo de la presente tesis). Consisten en un tubo pequeño dentro de uno de diámetro mayor, que tienen circulando fluidos en el interior de ambos.

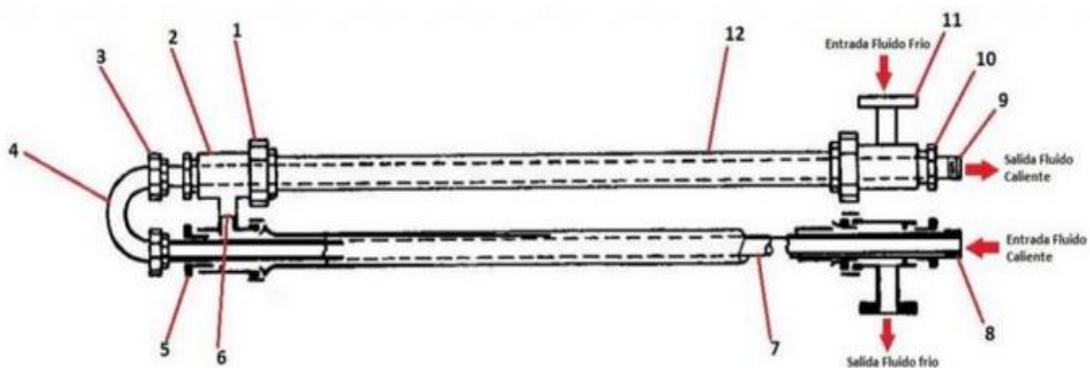


Figura 6. Intercambiador de tubería doble. 1. Prensaestopas tubo exterior, 2. T de conexión, 3. Unión roscada, 4. Codo en U, 5. Prensa estopas tubo interno, 6. Tubo conector, 7. Tubo interior, 8. Entrada tubo interno, 9. Salida tubo externo, 10. Prensaestopas de paso, 11. Entrada tubo externo, 12. Tubo externo, 13. Salida tubo externo. (SOUTULLO, s.f.)

1.1.8 Intercambiadores enfriados por aire.

Es el caso de las torres de enfriamiento, donde se hace caer por gravedad, el agua y el aire se hace circular en contraflujo al agua por medio de ventiladores de inducción.

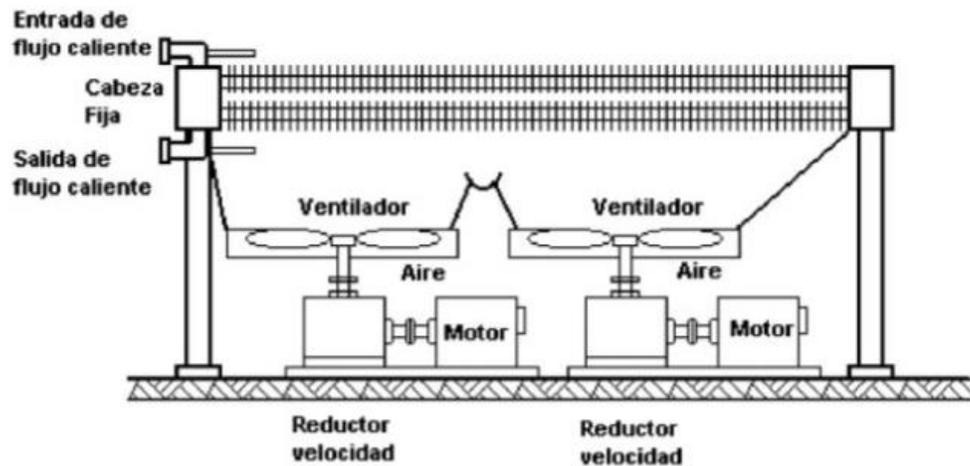


Figura 7. Intercambiador de calor enfriado por aire. (SOUTULLO, s.f.)

1.1.9 Intercambiadores de tipo placa.

También llamados intercambiadores compactos, estando limitados a presiones pequeñas y adaptables a diferentes materiales soldados.

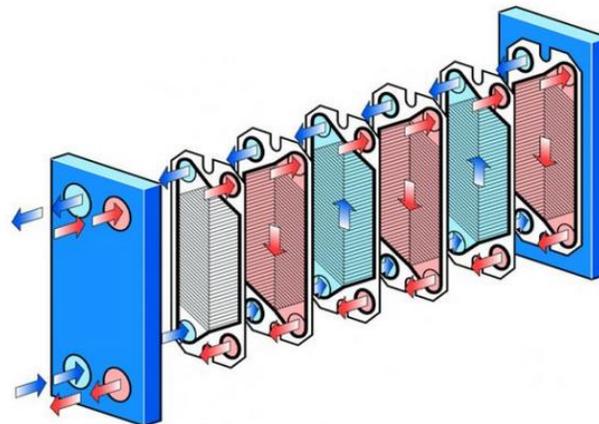


Figura 8. Intercambiador de calor tipo placa. (SOUTULLO, s.f.)

1.1.10 Intercambiadores de casco y tubo.

Son los más empleados en la industria química y de generación en termoeléctricas. Consisten en una serie de tubos colocados en el interior de uno de mayor diámetro. Su diseño está estandarizado por The Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA).

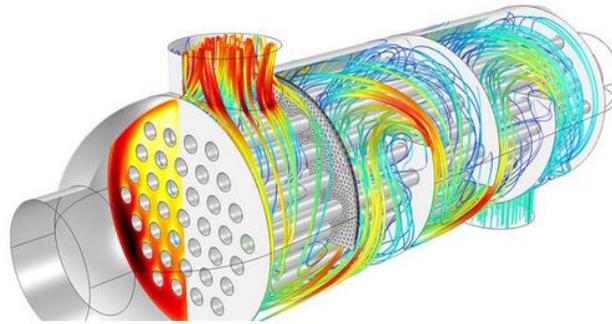


Figura 9. Intercambiador de coraza (casco) y tubo. (SOUTULLO, s.f.)

Evolución de los intercambiadores de calor (Alfa de Occidente, 2020).

“Los intercambiadores de calor a placas aparecieron en la década de 1920 y se utilizó especialmente en la industria de alimentos. El intercambiador se desarrolló en cartón en custodia tiene una estructura compacta y buena transferencia de calor, por lo que se desarrolló de muchas formas”.

“En la década de los 30’s Suecia fabricó el primer intercambiador de placas en espiral, luego Reino Unido utilizó una gran soldadura para producir un intercambiador de calor de aleta de placa hecho en cobre y materiales de aleación para los motores de aviones”.

“A finales de los 30’s Suecia creó el primer intercambiador de calor de carcasa y tubos para fábricas de pastas”.

“Se tenía que resolver el problema de la transferencia de calor del medio corrosivo fuerte, por lo cual se prestó atención al intercambiador de calor con el nuevo material. Alrededor de los 60’s se desarrolló junto con la tecnología de sellado una soldadura fuerte, el proceso de fabricación del intercambiador de calor mejoró aún más, se promovió el desarrollo y la amplia aplicación de intercambiadores de calor de superficie de placa compactos, además en esa misma década se buscó adaptarse a condiciones de altas temperaturas y alta presión de la transferencia de calor y las necesidades de ahorro de energía”.

“A mediados de los 70 se creó fortalecer la transferencia de calor, el flujo relativo de fluido del intercambiador se dividía en dos clases, corriente abajo y contracorriente, la temperatura de entrada de dos fluidos es la más grande, a lo largo de la superficie la distribución de temperatura es más uniforme. Bajo su condición de temperatura de entrada y salida del canal frío y caliente sea segura, la diferencia de temperatura promedio de contracorriente es la máxima cuando ambos fluidos no tienen cambio de fase”. (Alfa de Occidente, 2020)

Considerando ésta breve evolución de los intercambiadores de calor se puede visualizar las aplicaciones que se les puede dar.

Son diversas las industrias donde emplean el intercambio de calor, a continuación se mencionan algunas:

- Industria Alimentaria
- Industria Petrolera
- Industria Química
- Industria Eléctrica
- Industria Electrónica
- Control de procesos
- Aire acondicionado y Refrigeración

1.2 Sistema de adquisición de datos. (National Instruments, 2021)

Dentro de la industria actualmente los equipos que utilizan cuentan con un sistema de adquisición de datos, a continuación se describirá lo que se debe saber de este sistema.

1.2.1 ¿Qué es Adquisición de Datos?

La adquisición de datos que sus siglas en inglés son DAQ (Data Acquisition Query). (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable.



Figura 10. Partes de un sistema DAQ. (National Instruments, 2021)

1.2.2 Partes de un Sistema DAQ

1.2.2.1 ¿Qué es un Sensor?

La medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor. Un sensor, también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ.

Tabla 1. Sensores Comunes. (National Instruments, 2021)

Sensor	Fenómeno
Termopar, RTD, Termistor	Temperatura
Fotosensor	Luz
Micrófono	Sonido
Galga Extensiométrica, Transductor Piezoeléctrico	Fuerza y Presión
Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico	Posición y Desplazamiento
Acelerómetro	Aceleración
Electrodo pH	pH

1.2.2.2 ¿Qué es un Dispositivo DAQ?

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos. Por ejemplo, los convertidores digitales-analógicos (DACs) envían señales analógicas, las líneas de E/S digital reciben y envían señales digitales y los contadores/temporizadores cuentan y generan pulsos digitales.

Componentes Clave de Medidas para un Dispositivo DAQ

- Acondicionamiento de Señales: Las señales de los sensores o del mundo exterior pueden ser ruidosas o demasiado peligrosas para medirse directamente. El circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal de tal forma que es apropiado para entrada a un ADC. Este circuito puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento. Algunos dispositivos DAQ incluyen acondicionamiento de señales integrado diseñado para medir tipos específicos de sensores.

- Convertidor Analógico Digital (ADC): Las señales analógicas de los sensores deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por el equipo digital como una PC. Un ADC es un chip que proporciona una representación digital de una señal analógica en un instante de tiempo. En la práctica, las señales analógicas varían continuamente con el tiempo y un ADC realiza "muestras" periódicas de la señal a una razón predefinida. Estas muestras son transferidas a una PC a través de un bus, donde la señal original es reconstruida desde las muestras en software.

Los dispositivos DAQ se conectan a una PC a través de una ranura o puerto. El bus de la PC sirve como la interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y la PC para pasar instrucciones y datos medidos. Los dispositivos DAQ se ofrecen en los buses de PC más comunes, incluyendo USB, PCI, PCI Express y Ethernet. Recientemente, los dispositivos DAQ han llegado a estar disponibles para 802.11 Wi-Fi para comunicación inalámbrica. Hay varios tipos de buses y cada uno de ellos ofrece diferentes ventajas para diferentes tipos de aplicaciones.

1.2.2.3 ¿Cuál es la Función de la PC en un Sistema DAQ?

Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Diferentes tipos de PCs son usadas en diferentes tipos de aplicaciones. Una PC de escritorio se puede utilizar en un laboratorio por su poder de procesamiento, una laptop se puede utilizar por su portabilidad o una PC industrial se puede utilizar en una planta de producción por su robustez.

¿Cuáles son los Diferentes Componentes de Software en un Sistema DAQ?

- Software Controlador: El software controlador ofrece al software de aplicación la habilidad de interactuar con un dispositivo DAQ. Simplifica la comunicación con el dispositivo DAQ al abstraer comandos de hardware de bajo nivel y programación a nivel de registro. Generalmente, el software controlador DAQ expone una interfaz de programación de aplicaciones (API) que es usada en un entorno de programación para construir software de aplicación.
- Software de Aplicación: El software de aplicación facilita la interacción entre la PC y el usuario para adquirir, analizar y presentar datos de medidas. Puede ser una aplicación pre-construida con funcionalidad predefinida o un entorno de programación para construir aplicaciones con funcionalidad personalizada. Las aplicaciones personalizadas generalmente son usadas para automatizar múltiples funciones de un dispositivo DAQ, realizar algoritmos de procesamiento de señales y mostrar interfaces de usuario personalizadas.

1.2.3 Importancia de un sistema de adquisición de datos.

La adquisición de datos es importante para la industria, debido a que, genera muchas ventajas, por ejemplo:

1. Fiabilidad de los procesos. Los datos obtenidos se pueden utilizar para mejorar la eficiencia, garantiza el resultado y asegurar que el equipo funcione en forma adecuada.
2. Mediciones en tiempo real, la obtención de mediciones sin demora.
3. Disminución de errores. Con la eliminación de datos obtenidos a mano, la adquisición de datos elimina los errores humanos.
4. Integración de datos, no es necesario tener muchos programas con un sistema DAQ se asegura que la información es completa.
5. Acceso a datos. Con el sistema DAQ se puede guardar datos obtenidos de la prueba y así también recuperar información.
6. Supervisión del proceso. Con el seguimiento de la obtención de datos se podrá identificar y resolver fallos más rápido.

1.3 Equipos de transferencia de calor en el mercado para el aprendizaje de la asignatura.

A continuación se mencionaran dos empresas de las cuales son expertas en el área del aprendizaje en la ingeniería: *Cussons Technology Ltd* y *PA Hilton*. Se mencionarán un par de lo equipos más recientes que ofrece cada empresa y el objetivo de cada equipo para la asignatura de "Transferencia de Calor".

1.3.1 Equipos de transferencia de calor: Cussons Technology Ltd. (Cussons Technology, 2020)

Cussons Technology Ltd ha sido especialista en varios sectores de la ingeniería siendo capaz de proporcionar equipos didácticos y capacitación a escuelas, institutos tecnológicos y Universidades Politécnicas desde 1872 en Manchester, Inglaterra.

Las áreas en la que están especializados son:

- Termodinámica (incluyendo Transferencia de Calor e Ingeniería del Vapor).
- Ingeniería Automotriz.
- Mecánica de Fluidos.
- Control de Procesos e Instrumentación.
- Teoría de Máquinas.
- Resistencia de Materiales y Estructuras.
- Además de la nueva gama de equipos en Energías Renovables para las áreas de Energía Eólica, Solar y Mareomotriz.

Cussons cumple con el certificado ISO 9001, además de cumplir con los más exigentes estándares de seguridad, fabricación y diseños Británicos (BS) e internacionales (ISO).

Cussons para el área de termodinámica con tema de intercambiador de calor y transferencia de calor, proporciona una gama de equipos de laboratorio para enseñar los conceptos principales que sustentan una variedad de tecnologías de transferencia de calor.

Cussons ofrece equipos de prueba especializados para ilustrar el tema del intercambio de calor en los fluidos. Todas las unidades experimentales son de sobremesa y especialmente diseñadas para permitir flexibilidad en las interconexiones entre ellas. Las unidades también están controladas por computadora con modernas instalaciones de adquisición de datos.

A continuación se describirán algunos equipos más recientes que proporciona Cussons.

1.3.1.1 Banco de transferencia de calor.



Figura 11. Banco de Transferencia de Calor Cussons P3210. (Cussons Technology, 2020)

El banco de transferencia de calor de flujo cruzado P3210 de Cussons permite el estudio de la convección forzada desde la superficie de un tubo calentado y colocado transversalmente a una corriente de aire, ya sea solo o en varias posiciones dentro de un haz de tubos de flujo cruzado.

Se incluyen tamaños alternativos de tubos calentados para permitir al estudiante determinar el efecto del diámetro del tubo sobre el coeficiente de transferencia de calor.

Este aparato particular incorpora la fuente de energía de bajo voltaje variable y la facilidad de lectura de temperatura requerida para cada experimento. Con el ventilador apagado, se pueden realizar estudios de convección natural.

Descripción

El banco de transferencia de calor P3210 consta de un banco de flujo de aire y un experimento de transferencia de calor de flujo cruzado.

El banco de flujo de aire básico consiste en un marco de acero soldado, montado sobre ruedas, y proporciona dos superficies de trabajo para experimentos y espacio de almacenamiento integral. Un ventilador tangencial (es decir, equipado con un impulsor centrífugo de cuerda estrecha), accionado directamente desde un motor de inducción monofásico, proporciona el flujo de aire necesario para los experimentos. El ventilador es capaz de proporcionar un flujo de 500 litros / segundo con un aumento de presión estática de 800 pascales. La instrumentación suministrada con el banco comprende un manómetro dual de múltiples pendientes con un barómetro tipo dial, un dispositivo de medición de flujo de entrada cónico, un tubo estático pitot para atravesar el conducto. Un sistema opcional de adquisición de datos que está disponible para proporcionar salidas de mediciones de flujo de aire para la interfaz con un sistema informático.

El experimento de transferencia de calor de flujo cruzado comprende una unidad experimental y un módulo de instrumento. El módulo del instrumento se puede usar con cualquiera de los otros experimentos de transferencia de calor opcionales, a saber, el Experimento de transferencia de calor de flujo paralelo y el Experimento de transferencia de calor de flujo mixto.

Experimentos que se pueden realizar

1. Para determinar la relación entre los números de Nusselt y Reynold aplicados a un solo tubo calentado y colocado transversalmente a una corriente de aire.
2. Determinar el efecto del cambio de diámetro en el coeficiente de transferencia de calor a un solo tubo en flujo cruzado.
3. Determinar el efecto del cambio de posición del tubo calentado dentro de un haz de tubos de flujo cruzado.

1.3.1.2 Unidad de intercambiador de calor.

Este intercambiador de calor P3400 es el sistema base de todo el experimento del intercambiador de calor. Esta unidad de sobremesa es el módulo que proporciona agua fría y caliente a los intercambiadores de calor, además de medir las temperaturas y los caudales en cada elemento. La unidad se suministra con un sistema de control electrónico y computarizado y representación, que incluye PC.

Todas las conexiones del equipo son selladores automáticos, acoplamientos rápidos que permiten un cambio rápido y simple de los diferentes intercambiadores, sin pérdida de fluido. Las conexiones fría y caliente están claramente marcadas para evitar malentendidos en la conexión.

El módulo tiene un tanque de agua caliente que puede contener hasta 4,5 litros de agua, con un controlador electrónico de temperatura y nivel. Una válvula

electromecánica llena el tanque automáticamente cuando es necesario. El sistema de almacenamiento de agua está protegido contra sobrecalentamiento, bajo nivel de agua y tanque de desbordamiento.

El sistema de bombeo tiene un bypass, que facilita el funcionamiento de la bomba y permite una mejor estabilización de las condiciones en el tanque.

El manual de instrucciones viene con todos los fundamentos teóricos, así como todas las expresiones matemáticas utilizadas durante los experimentos.

El equipo incluye una PC con software para adquisición de datos, posible en modo manual o automático.

El equipo viene con un sistema automático de calibración del sensor.



Figura 12. Intercambiador de calor Cussons P3400. (Cussons Technology, 2020)

Experimentos que se pueden realizar.

Los siguientes experimentos se pueden realizar con P3400 incluyendo todos los accesorios:

- Demostración de transferencia de calor.
- Demostrar y comparar operaciones en contracorriente y contracorriente.
- Determinación del coeficiente global de transferencia de calor.
- Medición del coeficiente de transferencia y el efecto del caudal y la temperatura.
- Determinar el balance energético y calcular las eficiencias.
- Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica.

1.3.2 Equipos de transferencia de calor PA Hilton. (PA Hilton, 2020)

PA Hilton es un líder mundial del mercado en la investigación, diseño y fabricación de equipos de enseñanza de laboratorio para estudiantes de ingeniería. Respaldado por medio siglo de experiencia, construido en Gran Bretaña desde 1964.

La gama PA Hilton Heat Transfer admite la enseñanza de los principios de transferencia y termodinámica, conocimiento básico para la mayoría del aprendizaje de ciencias e ingeniería. La gama incluye unidades adicionales modulares para estudios más avanzados y una unidad común de instrumentación y servicio con módulos adicionales para aplicaciones específicas. Las actualizaciones de adquisición de datos permiten la captura de parámetros experimentales clave utilizando un software a medida.

A continuación se describirán un par de equipos más recientes que proporciona PA Hilton.

1.3.2.1 Unidad de servicio de intercambiador de calor.

La unidad H102E de servicio de intercambiador de calor es un panel montado en un banco con una consola eléctrica integral que brinda servicios para cualquiera de los 11 intercambiadores de calor opcionales. El agua caliente controlada por temperatura es provista desde un tanque calentado eléctricamente por una bomba de velocidad fija continuamente clasificada. La red de agua fría está regulada por presión. El flujo caliente y frío se controla y mide utilizando medidores de flujo de área variable. Los intercambiadores de calor opcionales se conectan a la unidad de servicio utilizando acoplamientos autosellantes antigoteo.

La seguridad eléctrica es proporcionada por los interruptores automáticos de sobrecarga de doble polo y fuga a tierra. El sistema de agua caliente está equipado con un dispositivo limitador de temperatura de seguridad.



Figura 13. Unidad H102E Servicio de Intercambiador de Calor. (PA Hilton, 2020)

La instrumentación estándar consta de hasta 12 termopares tipo T, que se muestran en un medidor de panel digital, y dos medidores de flujo para fluidos calientes y fríos. Estos permiten realizar todos los cálculos relevantes de transferencia de calor. Los intercambiadores de calor opcionales en algunos casos agregan otras configuraciones de medición. Una actualización opcional de adquisición de datos computarizada también está disponible para permitir que todos los parámetros disponibles se registren en una computadora en tiempo real.

1.3.2.2 Intercambiador de calor de vapor a agua.



Figura 14. Intercambiador de calor de tubo concéntrico. (PA Hilton, 2020)

El intercambiador de calor de tubo concéntrico Hilton H953 permite una medición rápida de la superficie y los coeficientes de transferencia de calor general en condiciones de flujo turbulento. La unidad está montada en banco y es independiente. Permite establecer perfiles detallados de temperatura, coeficientes generales de transferencia de calor y establecer una relación importante entre los números de Nusselt, Reynolds y Prantl. Este es un tipo de tubo concéntrico clásico con agua caliente que fluye a través del tubo central mientras que el agua de enfriamiento fluye a través del espacio anular.

El intercambiador de calor se ha dividido en tres secciones iguales para permitir el examen de las condiciones de temperatura de la corriente intermedia y la distribución de temperatura a través del intercambiador de calor. Los termopares perciben las temperaturas de la corriente fría y caliente en las cuatro estaciones y las temperaturas de la pared a la entrada y a la salida.

El agua caliente provista por un calentador eléctrico es alimentada por una bomba al extremo superior del tubo central del intercambiador de calor. El agua se enfría a medida que fluye a través del intercambiador de calor, y al salir pasa a través de un medidor de flujo y luego regresa al tanque de calentamiento, donde se recalienta.

Con base en los equipos que se presentaron de cada empresa y con la descripción de lo que ofrece cada una, se menciona que en sus nuevos equipos de enseñanza cuenta con un sistema de adquisición de datos o por lo menos un software que facilita la obtención de datos en la experimentación.

1.4 Equipo que se tiene a disposición de laboratorio.

Volviendo al laboratorio de Térmica y Fluidos L2 de la FES Aragón, actualmente se cuenta con cinco equipos que pueden ser utilizados para el nuevo laboratorio de Tránsito de Calor, de acuerdo a la planeación de incluirlo en el nuevo Plan de Estudios de la Carrera de Ingeniería Mecánica. Cabe recalcar que ninguno de estos equipos cuenta con un sistema DAQ, dichos equipos son:

- Intercambiador de calor de dos fases.



Figura 15. Equipo Intercambiador de calor de dos fases. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)

- Intercambiador de flujo cruzado.



Figura 15. Equipo intercambiador de calor de flujo cruzado. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)

- Torre de enfriamiento.



Figura 16. Equipo Torre de enfriamiento. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)

- Equipo de radiación y convección natural.



Figura 17. Equipo de radiación y convección de energía. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)

- Equipo de Transferencia de calor marca Wards Steam (ICW).



Figura 18. Equipo de transferencia de calor por radiación y convección de energía. (Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2, 2019)

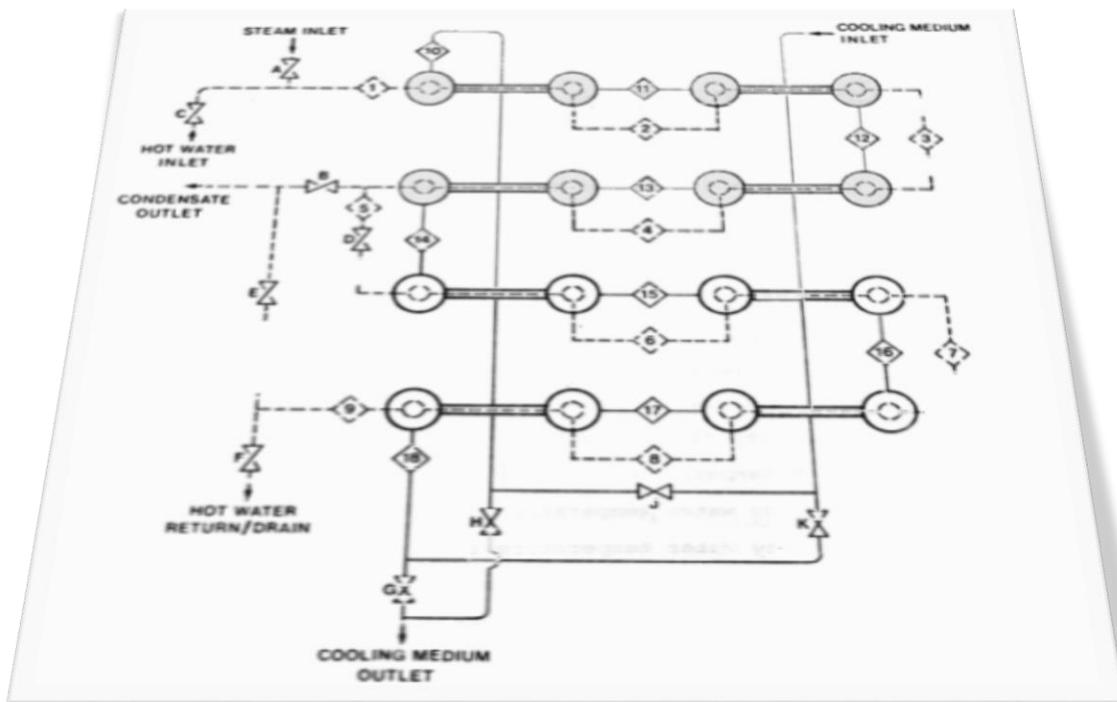
Los equipos mencionados se encuentran funcionando a excepción del Wards, del cual es importante su aplicación ya que la transferencia de calor llevada a cabo se realiza por convección, en distintas disposiciones como son en flujo paralelo, contraflujo y se pueden aplicar dos fluidos distintos de enfriamiento y dos distintos de calentamiento, ya que ese equipo es del tipo tubos concéntricos o de tubería doble. En cuanto a los otros equipos, la transferencia de calor para experimentación se lleva a cabo por ebullición y condensación (dos fases); por convección entre un metal calentado y aire, cruzando varillas de acrílico perpendiculares al flujo de aire simulando un serpentín (flujo cruzado); entre aire a temperatura ambiente y agua caliente en contacto entre ellos y circulando a contraflujo uno de otro en una estructura vertical (torre); por radiación en un depósito metálico sometido a presión negativa y con una fuente de calor (resistencia).

Por lo anterior expuesto, el único equipo faltante para el laboratorio, es el que proporciona intercambio de calor por convección entre fluidos separados por pared de conducto, y que incluya el cambio del sentido de los flujos, como es el caso del equipo Wards Steam y que está fuera de servicio.

Ya mencionada la importancia de reparar el equipo Intercambiador de calor Wards Steam, y dada la necesidad de llevarla a cabo, se proporciona en el siguiente capítulo la descripción detallada del equipo a rehabilitar.

Capítulo II

Descripción del equipo y necesidades.



El equipo de Transferencia de Calor marca Wards Steam, es un equipo del tipo “tubería doble” o de tubos concéntricos. La marca Wards es de origen Inglés y tiene una edad de cuarenta años aproximadamente. De acuerdo con su historial de bitácora, el uso que se le ha dado nunca fue frecuente y se abandonó su uso al no poder obtener las condiciones adecuadas de lecturas en los flujos y las presiones.

Con el fin de hacer operable el equipo se realizó una revisión de sus partes considerando las características descritas a continuación.

2.1 Características generales.

- Unidad independiente para el intercambio de calor entre agua caliente del tanque y agua de la red. El flujo de vapor y aire en el equipo son los fluidos que depende del Generador de vapor Clayton y compresor en el laboratorio. El funcionamiento del equipo no depende de otros para su funcionamiento.
- Requisitos mínimos de servicios. Estos servicios son el suministro eléctrico trifásico a 220V AC, agua de la red de la Facultad, aire proveniente del compresor del laboratorio.
- Suministro de agua caliente incorporado, por medio de un tanque, bomba para flujo de agua caliente, Banco de resistencias eléctricas para calentamiento del agua.
- Termómetros del tipo bimetálico con carátulas de diferentes graduaciones para flujos de enfriamiento y de calentamiento.
- Indicador digital de 18 puntos que incluye termopares tipo “J” colocados en los puntos de censado de flujos de enfriamiento y calentamiento.
- Diseño compacto, con tuberías curvadas y concéntricas para el intercambio de calor con flujo paralelo y contraflujo.

2.2 Experimentos que se pueden realizar.

De acuerdo con las características generales los experimentos que se pueden realizar con el equipo son los siguientes:

- Transferencia de calor con fluidos circulando en paralelo.
- Transferencia de calor con fluidos circulando a contraflujo.

Ambos experimentos son para obtener el coeficiente global de transferencia de calor U .

Además se pueden realizar ambos experimentos utilizando dos fluidos para cada sistema: Para el sistema de calentamiento se emplea vapor o agua del tanque, y del sistema de enfriamiento agua de la red pública o aire comprimido.

Otra manera de operar el equipo es empleando solo la mitad del equipo (cuatro pasos) o con el equipo completo (ocho pasos).

En resumen, los objetivos principales a obtener en la práctica son:

- Conocer y aplicar el estudio termodinámico de un intercambiador de calor en tubos concéntricos.
- Analizar las curvas de diferencia de temperatura.
- Determinar la importancia del coeficiente global de transferencia de calor.

2.3 Dimensiones generales del equipo.

- Longitud 1680 mm
- Ancho 1050 mm
- Altura 2500 mm

2.4 Valores en los servicios requeridos.

- Vapor: hasta 225 kilogramos por hora a una presión de 3 a 4 bar.
- Agua: suministro de red pública o tanque hasta 50 litros por minuto.
- Aire: aproximadamente 1 metro cúbico por minuto a 0.3 bar.

2.5 Instalación.

De acuerdo con el manual técnico del equipo, para garantizar su correcta operación se debe cumplir con lo siguiente.

- La unidad debe estar colocada en un piso nivelado y las tuberías de servicio funcionando de modo que los fluidos se mantengan al mínimo requerido.
- Las siguientes cifras de consumo se dan solo como una guía general y por supuesto pueden variar para satisfacer los requisitos experimentales.
- El vapor después de fluir a través de la unidad debe descargarse a un condensador donde el vapor se condensa y se mide para obtener el valor del flujo de vapor utilizado durante el experimento.

- Agua caliente: el agua caliente se suministra a partir de un calentador eléctrico y forma un sistema cerrado. El agua regresa al calentador eléctrico después de perder parte de su calor en el intercambiador de calor, donde se vuelve a calentar a una temperatura constante.
El sistema de agua caliente incorpora un taque de agua constante, que permite que el sistema se llene inicialmente con la red hidráulica de la FES, y que actúa como un tanque de expansión que permite que el agua caliente se expanda libremente manteniendo una presión constante en todo momento.
El suministro de agua, que pasa por este sistema después del llenado inicial, es solo el requerido para la recuperación, debido a la evaporación y expansión.
Se incorpora una bomba para circular agua caliente a través del sistema con un flujo de hasta 1300 litros/hora.
- Agua fría: con un gasto de 3000 litros por hora. Donde el agua de enfriamiento se toma de la red hidráulica de la FES o del sistema de agua de circulación principal del laboratorio que se alimenta desde la torre de enfriamiento. Cualquiera que sea el sistema utilizado debe mantenerse una temperatura de entrada de agua constante.
- Aire frío: con un gasto de 1 metro cúbico por min a una presión de 0.3 bar. Se recomienda que el aire sea suministrado por un soplador o ventilador para dar un gran volumen de aire a baja presión y no desde un compresor de aire a menos que se use un receptor grande.

2.6 Descripción general.



a)



b)

Figura 19. a) Vista física del equipo Intercambiador de calor Wards Steam, b) vista lateral mostrando el conjunto de intercambiadores de calor atrás del equipo. (Elaboración propia)

El equipo de Transferencia de calor Wards Steam consta de 8 conjuntos de intercambiadores de calor, con tubo exterior de acero y tubos interiores de aluminio - latón. El medio de calentamiento, vapor o agua caliente, fluye por dentro de los tubos internos y el medio de enfriamiento, agua fría o aire, fluye en el espacio anular entre los tubos interno y externo.

Se proporcionan válvulas de control y aislamiento para permitir que el medio de calentamiento fluya a través de cuatro u ocho conjuntos de tubos, y el medio de enfriamiento sea paralelo o contraflujo.

Las disposiciones esquemáticas y el sistema de flujo se muestran en la Figura 20.

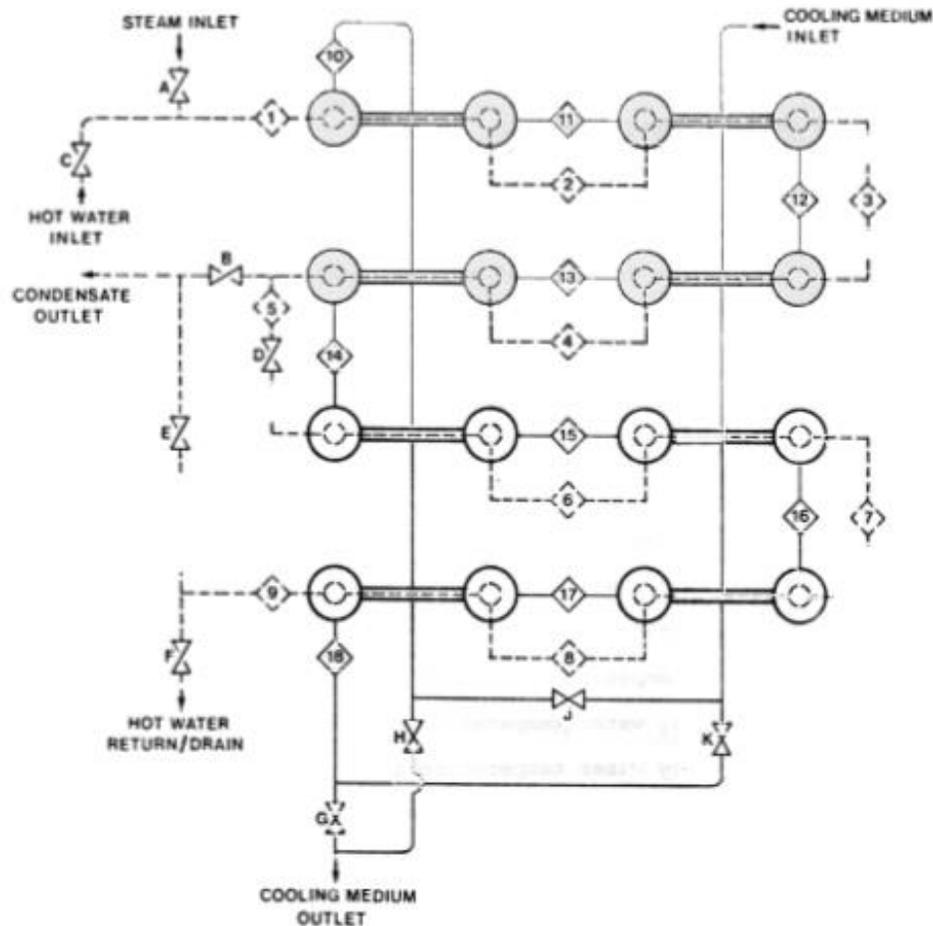


Figura 20. Esquema de circulación de los fluidos. (Manual y prácticas ICW, 2019)

La unidad al ser independiente de otros equipos, consta de lo siguiente:

- 8 Conjuntos de intercambiadores de calor.
- Conjuntos de válvulas de control y aislamiento.
- Calentador de agua caliente con calentador eléctrico.
- Carcasa de aluminio para conjuntos de intercambiadores de calor adecuadamente aislados.
- 9 Termómetros tipo dial para sistema de calefacción.
- 9 Termómetros tipo dial para sistema de enfriamiento.
- Indicador digital de 18 puntos con termopares para dar un método alternativo de medición de temperatura a los termómetros tipo dial.
- 1 Caudalímetro de aire de refrigeración.
- 1 Caudalímetro de agua de refrigeración.
- 1 Caudalímetro de agua caliente.

El flujo de vapor debe medirse mediante un condensador externo donde el vapor se condensa, recoge y mide. En la siguiente tabla 2 se muestra la simbología empleada en el esquema de la Figura 20.

Tabla 2. Códigos esquemáticos del equipo. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Códigos	
Tubos de enfriamiento	
Tubos de calentamiento	
Puntos de temperatura de enfriamiento	
Puntos de temperatura de calentamiento	
Válvulas de enfriamiento	
Válvulas de calentamiento	

Es importante conocer la superficie de contacto para los fluidos, las dimensiones características de los tubos se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. Datos conocidos del equipo por los fabricantes. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Medidas conocidas	
Objeto	Dimensiones
Longitud de tubos de enfriamiento de acero	1[m] * n pasos
Longitud de tubos de calentamiento de aluminio-latón	1[m] * n pasos
Diámetro interno del tubo de enfriamiento	31.6[mm]
Diámetro interno del tubo del calentamiento	16.612[mm]
Espesor del tubo de enfriamiento	5.4[mm]
Espesor del tubo del calentamiento	1.219[mm]

2.7. Condiciones encontradas en el equipo mediante inspección visual y arranque de prueba.

Algunas de las condiciones actuales de equipo coinciden con la bitácora de servicio. En la siguiente tabla se mencionan las irregularidades en las que se encontró el equipo, y que no coinciden con la descripción y características que se mencionaron anteriormente, estas son resultado de una inspección realizada más a fondo y se muestran a continuación.

Tabla 4. Condiciones del equipo antes de la rehabilitación. (Elaboración propia) Ver figuras en el Anexo A.

Parte del equipo ICW	Condiciones encontradas
Bomba para flujo de agua caliente	Atorada y con fuga de agua en sello mecánico. Figura 1. Anexo A.
Tanque para calentamiento de agua	Perforado y con fuga en la parte inferior junto al tubo de desagüe. Tubo de desagüe picado. Válvula de purga de aire tapada y sucia. No se puede realizar reparación de fuga por estar el tanque soldado a la base. No hay espacio para hacer reparación. Figura 2. Anexo A.
Válvula de control para suministro de agua de enfriamiento y válvula de control para suministro de vapor.	Con fugas, presentando escurrimientos de agua. Figura 3. Anexo A.
Tanque elevado, su función es suministrar agua al sistema de calentamiento.	Con basura en el interior, oxidado y sucio, además cuenta con rebosadero y flotador, el flotador se desconoce que funcione. Figura 4. Anexo A.
Parte eléctrica:	
- Cable de suministro eléctrico	- El cable de suministro se encuentra quemado en los extremos.
- Clavija de suministro eléctrico.	- Clavija de suministro hace falso contacto.
- Fusibles de los arrancadores	- Se encontraron dos fusibles Quemados y tres arrancadores con alambre a modo de fusible.
	Figura 5. Anexo A.

Medidor digital de temperatura	Sin medidor. Figura 6. Anexo A.
Tablero de cuchillas	Cuchillas sucias y oxidadas. Figura 7. Anexo A.
Termómetros bimetálicos de carátula	Dos rotos del cristal, el resto en buenas condiciones. Al parecer un termómetro fue remplazado, debido a que, es diferente al resto. Figura 8. Anexo A.
Rotámetro para aire	Sin medidor de flujo de aire. Figura 9. Anexo A

Las imágenes de las condiciones iniciales encontradas en el equipo se pueden observar en el Anexo A.

Capítulo III

Programación de mantenimiento correctivo y proceso de reparación.



3.1 Rehabilitación del equipo: Actividades.

Una vez realizado el levantamiento de las condiciones en que se encontró el equipo se elaboró un cronograma de actividades para la rehabilitación, el cual se muestra a continuación:

Tabla 5. Actividades realizadas. (Elaboración propia)

ACTIVIDAD	SUPERVISIÓN	INICIO DEL PLAN	FIN DEL PLAN	DURACIÓN (en días)	ESTADO
1. Instalación de soportes al equipo	Ing. Rosendo Méndez Gallo	19-mar-19	29-mar-19	10	COMPLETADO 100%
2. Reparación del tanque de calentamiento	Ing. Rosendo Méndez Gallo	01-abr-19	30-ago-19	151	COMPLETADO 100%
3. Rieles para la manipulación del tanque de calentamiento	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes	06-ago-19	20-ago-19	14	COMPLETADO 100%
4. Bomba para flujo de agua caliente.	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes	02-sep-19	13-sep-19	11	COMPLETADO 100%
5. Resistencia eléctrica de calentamiento	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes	17-sep-19	20-sep-19	3	COMPLETADO 100%
6. Reparación de la tubería	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes	23-sep-19	27-sep-19	4	COMPLETADO 100%
7. Revisión de la instalación eléctrica	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes	30-sep-19	11-oct-19	11	COMPLETADO 100%
8. Recuperación del tanque elevado de alimentación	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes	14-oct-19	18-oct-19	4	COMPLETADO 100%
9. Instalación del Sistema de Adquisición de Datos	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes y M. en I. Humberto Mancilla Alonso	10-sep-19	25-oct-20	411	COMPLETADO 85%
10. Elaboración del trabajo escrito	M. en C. Jorge Vázquez Cervantes	25-oct-20	20-ene-21	87	COMPLETADO 100%

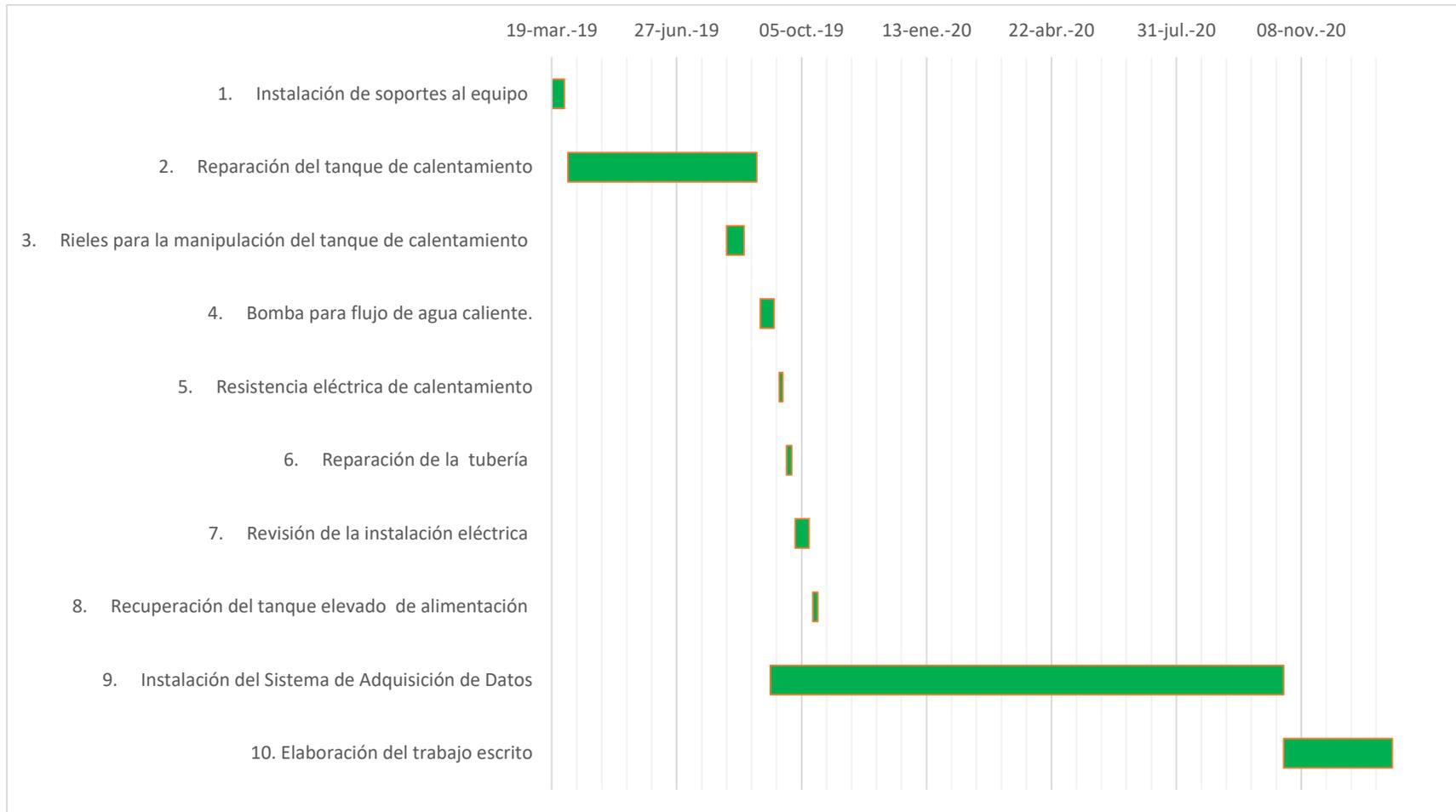


Figura 21. Diagrama de Gantt. Actividades realizadas por tiempo. (Elaboración propia)

Las actividades fueron realizándose de acuerdo al cronograma y cada una de ellas fue supervisada por un técnico de laboratorio para un mejor resultado. Los detalles de cada actividad de mantenimiento que se realizó se pueden resumir en la siguiente tabla 6.

Las imágenes de las actividades de la rehabilitación se muestran en el Anexo B.

Tabla 6. Actividades de rehabilitación. *(Elaboración propia)* **Ver figuras en el Anexo B.**

ACTIVIDAD	DETALLES	RESULTADOS
1. Instalación de soportes al equipo	Estructura tubular soldada, por arco eléctrico con aporte de material E6013 ¹ , al equipo para cuando se retire el tanque tenga mayor estabilidad. El trabajo de soldadura fue supervisado por el Ing. Rosendo Méndez Gallo, técnico del laboratorio L1 “Diseño y Manufactura”	La estructura que se soldó al equipo facilitó la extracción y mantenimiento del tanque de calentamiento, además de la seguridad personal y conservación del equipo ICW para evitar un derrumbe y accidente. Figura 1. Anexo B.
2. Reparación del tanque de calentamiento	Extracción del tanque mediante corte con oxiacetileno. Eliminación del tubo de descarga, recubrimiento y sellado del barreno que quedó del sistema de desagüe, con soldadura eléctrica con material de aporte E7018 ² . Instalación de un sistema de dren, para extraer el agua que quede en el	Se reinstaló el tanque mediante los rieles quedando a la altura original, así, no se tuvo que modificar las tuberías que van conectadas al mismo. Quedó sellada la fuga y con nuevo sistema de desagüe. Quedó libre de residuos de herrumbre en el interior.

¹ E6013, es un electrodo utilizado para la fabricación de estructuras ligeras, trabajos de mantenimientos en aceros al carbón, herrerías, láminas, cualquier corriente y polaridad. (infra, 2020)

² E7018, es un electrodo utilizado para materiales sometidos a esfuerzos estáticos y dinámicos tales como edificios, puentes, grúas, barcos, tubería de conducción, tanques de almacenamiento, recipientes sometidos a alta presión, entre otras aplicaciones. (infra, 2020)

	<p>tanque al finalizar la práctica. Limpieza interna del tanque. Limpieza de válvula expulsora de aire. Eliminación de rebaba por el corte con oxiacetileno Unión por soldadura eléctrica con aporte E7018 de un tubo cuadrado de 1 pulgada a la base del tanque, para tener una mayor área de contacto con el sistema de rieles y pueda deslizarse. Cambio de aislante del tanque. Se realizaron dos barrenos en las dos partes superiores del tanque (en los perfiles en c), con ello para fijar el tanque al resto del equipo en su posición original. El trabajo de soldadura fue supervisado por el Ing. Rosendo Méndez Gallo.</p>	<p>La válvula expulsora de aire quedó operando. Para evitar movimiento del tanque y se quede en su posición original sobre los rieles, se fija de la parte superior a la viga (donde anteriormente se encontraba fijo el tanque) con un par de ángulos, y con ayuda de pernos y tuercas. Y la colocación de aislante nuevo para evitar pérdida de calor del tanque. Figura 2. Anexo B.</p>
<p>3. Rieles para la manipulación del tanque de calentamiento</p>	<p>Limpieza y adaptación de la superficie con placas de acero de ½ pulgada de grosor, para tener una superficie plana mediante soldadura por arco eléctrico con material de aporte E7018. Los perfiles metálicos interiores son de ¾, para evitar rozamientos con el tanque. Los perfiles metálicos exteriores son de 1½, esto para limitar el</p>	<p>Los rieles o correderas quedaron en la posición correcta, para cuando se instale el tanque quede en su posición original, con esto, resulta más fácil deslizar el tanque con ayuda de los balines de acero y la pluma hidráulica de laboratorio. Figura 3. Anexo B.</p>

	<p>movimiento del tanque y tenga solo un eje de libertad.</p> <p>Los perfiles fueron soldados a la base hecha por las placas con soldadura por arco eléctrico con material de aporte E7018.</p> <p>Se colocaron balines de acero limitando su movimiento por los perfiles metálicos y topes en los extremos, con ellos se podrá deslizar el tanque sobre la corredera.</p> <p>Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez, técnico de laboratorio L2 “Térmica y Fluidos”.</p>	
<p>4. Bomba para flujo de agua caliente.</p>	<p>Desacople de la bomba y desarme, limpieza de la bomba y cambio de sello mecánico.</p> <p>No se encontró ningún otro problema mecánico ni mucho menos eléctrico.</p> <p>Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez.</p>	<p>Se reinstaló la bomba y no hay irregularidades en su funcionamiento.</p> <p>Figura 4. Anexo B.</p>
<p>5. Resistencia eléctrica de calentamiento</p>	<p>Desmontación de las resistencias del tanque para su limpieza.</p> <p>Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez.</p>	<p>Se reinstaló la resistencia al tanque.</p> <p>La resistencia está en buenas condiciones.</p> <p>Figura 5. Anexo B.</p>

<p>6. Reparación de la tubería</p>	<p>Se remplazaron secciones de tuberías, ya que, se encontraban en malas condiciones y algunas presentaban fugas. Se realizó soldadura de tubería y codos, limpieza, reparación y cambio de válvulas. Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez.</p>	<p>Se instaló nueva tubería y accesorios en algunas secciones, dos válvulas se recuperaron por la falta de grafito. Se logró eliminar las fugas de agua. Figura 6. Anexo B.</p>
<p>7. Revisión de la instalación eléctrica</p>	<p>Instalación de fusibles nuevos en los arrancadores. Limpieza en las terminales del cable principal de suministro de energía eléctrica. Reparación de la clavija y la toma de corriente, que presentaba un falso contacto. Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez.</p>	<p>El sistema eléctrico cuenta con todos sus fusibles en los arrancadores. El cable de alimentación quedo libre de quemaduras en las puntas, cabe mencionar que, el cable de alimentación suele sobrecalentarse. Se eliminó el falso contacto entre la clavija y la toma de corriente. Figura 7. Anexo B.</p>
<p>8. Recuperación del tanque elevado de alimentación</p>	<p>Limpieza del óxido que se generó por estancamiento de agua. Y modificación del flotador, ya que, se encontraba fuera de los límites del tanque. Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez.</p>	<p>Al tanque se limpió del herrumbre y se le cubrió con nueva pintura para evitar la oxidación. El flotador quedo en posición para evitar un desborde de agua del tanque. Quedo en perfectas condiciones de operación. Figura 8. Anexo B.</p>

<p>9. Instalación del Sistema Adquisición Datos (DAQ)</p>	<p>Se barrenó a un costado del tablero de control, esto con el fin de que el nuevo cableado sea accesible al dispositivo DAQ. El cable que se utilizó, es para termopar tipo j.</p> <p>El nuevo cableado va de la bornera del equipo, a la bornera del dispositivo DAQ.</p> <p>Del dispositivo DAQ se conecta a una PC con una entrada usb (esta PC debe tener el software labVIEW).</p> <p>El programa de instrumentación virtual estará en una memoria USB que se conectará a la PC y se ejecutará la aplicación.</p> <p>La instrumentación virtual es un trabajo de Pedro Lugo Figueroa en su trabajo de tesis "Instrumentación virtual en intercambiador de calor"</p> <p>Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez y el M. en I. Humberto Mancilla Alonso. El M. en I. Humberto Mancilla es profesor de carrera en la carrera de Ingeniería "Eléctrica Electrónica".</p>	<p>En capítulo V se dará las instrucciones para el uso del sistema de adquisición de datos.</p> <p>La instrumentación virtual funciona adecuadamente y en tiempo real. Se obtienen todos los datos de temperatura y las gráficas que generan el intercambio de calor.</p> <p>Figura 9. Anexo B.</p>
--	---	--

<p>10.Elaboración del trabajo escrito</p>	<p>Con el equipo ICW en servicio se realizaron pruebas pilotos, esto, para evaluar tiempos, y acontecimientos negativo que se llegarán a presentar. Trabajo supervisado por el M. en C. Jorge Vázquez.</p>	<p>El equipo funciona en buenas condiciones, la única problemática son los tiempo para la realización de la pruebas, ya que, donde se consume más tiempo es en el lapso donde la resistencia calienta el agua, además de, el tiempo que toma en la estabilización de cada cambio de método (contraflujo o flujo paralelo). Con todo lo anterior se tuvo que actualizar el manual de prácticas³.</p>
--	--	--

Los materiales utilizados a lo largo de la rehabilitación del equipo ICW se pueden ver en el siguiente subtema y en la tabla 7 se puede observar la inversión que se generó.

Para la revisión del funcionamiento se realizó la puesta en marcha del equipo, realizando el procedimiento del manual original que se describe en el tema 3.2.

³ El manual de prácticas que se propone se encuentra en el siguiente link:
<https://drive.google.com/drive/folders/18rfOi0JxgsxneoDLYQZWS0IUchc2RFen?usp=sharing>

3.1.1 Inversión del proyecto

Durante la rehabilitación y mejora del equipo se compró material y algún otro se recicló, debido a que, era material sobrante de laboratorio.

En la siguiente lista se describirá el material reciclado que se utilizó.

- Tubo estructural cuadrado 1[in], utilizado para la estructura del equipo.
- Tubería de cobre 1[in].
- Accesorios de cobre para tubería de 1[in]: codos, tes y válvulas.

Cabe mencionar que el material reciclado es nuevo, solo que, se encontraba en la bodega de laboratorio.

En la siguiente lista se describirá el material que se compró.

- Electrodo E7018.
- Perfil de acero en L de 1½[in].
- Perfil de acero en L de ¾[in].
- Balín de acero.
- Placa de acero.
- Sello mecánico.
- Papel vellumoid.
- Silicón, para juntas.
- Soldadura para tubería de cobre.
- Cable termopar tipo j

El mayor gasto que se llegó hacer fue el cable termopar, si se usa de forma adecuada este cable no tendrá que sustituirse.

A diferencia de los fusibles en los arrancadores, que pueden llegar a fundirse e interrumpa la corriente eléctrica. Se recomienda tener un par de estos fusibles de reserva. Este gasto puede ser el más común.

Cuándo se tenga que hacer un mantenimiento al tanque y tener que removerlo, es necesario, tener papel vellumoid y silicón para juntas. Este gasto es el mínimo que se deberá hacer, debido a que, para poder manipular el tanque se debe desmontar tubería.

El total de la inversión fue de \$3280 M.N.

En la siguiente tabla, se describirá el gasto que se realizó de cada uno de los materiales utilizados.

Tabla 7. Inversión. (Elaboración propia)

Gastos de tesis			
Descripción	Precio unitario	Cantidad	Importe
Electrodo E7018, usado para la unión, recubrimiento y sellado del tanque de calentamiento	\$90 por cada (p/c) [kg]	1 [kg]	\$90
Perfil de acero en L de 1½[in]	\$220 p/c [m]	1.5 [m]	\$330
Perfil de acero en L de ¾[in], perfiles utilizados para el sistema de rieles donde corre el tanque de calentamiento	\$120 p/c [m]	1.5 [m]	\$180
Balín se acero, utilizado para soportar del tanque y poderlo deslizar.	\$50 cada pieza (c/p)	12 pieza(s)	\$600
Placa de acero, colocada como base para que los rieles queden al mismo nivel.	\$150	\$150	\$150
Sello mecánico.	\$280 c/p	1 pieza(s)	\$280
Papel vellumoid, utilizado para juntas, de la tubería del equipo y la resistencia eléctrica.	\$100 p/c [m ²]	1.5 [m ²]	\$150
Silicón, para juntas.	\$65 c/p	1 pieza(s)	\$65
Soldadura para tubería de cobre.	\$80 p/c [m]	1 [m]	\$80
Fusibles.	\$110 c/p	5 pieza(s)	\$550
Cable termopar tipo j	\$35 p/c [m]	23 [m]	\$805
		Total	\$3280

3.1.2 Proyección a futuro.

- El termostato que se encuentra conectado a las resistencias se podría sustituir por uno de mayor rango.

El termostato que se tiene es de un rango máximo a 80°C, se sugiere cambiarlo por uno donde su rango máximo sea 100°C. Con ello se podría hacer pruebas con una temperatura de 80°C – 90°C, se aumentaría el caudal de ambos fluidos y la curva de temperaturas se apreciaría de mejor manera, sin embargo, hay que considerar que para el adecuado análisis, los fluidos no deben cambiar de fase, a menos que se realice un intercambio de calor con cambio de fase a petición del académico que esté a cargo del experimento.



Figura 22: Termostato de las resistencias eléctricas. (Elaboración propia)

- El tanque de condensados se encuentra en malas condiciones, se recomienda su mantenimiento.
- Sería ideal que el ingreso del agua que se usa para enfriamiento no se desperdicie y se llegara a reutilizar, pasar a la torre de enfriamiento o que se volviera a ingresar a la red pública.
- Una forma de aumentar la esperanza de vida del equipo ICW es cambiar el suministro del agua de enfriamiento, debido a que, el suministro es directo de la red pública (se podría decir que es agua dura por la cantidad de minerales que contiene). Se recomienda que el suministro del agua de enfriamiento sea del tanque de condensados, esto porque, el agua suavizada evitaría incrustaciones y disminuiría la corrosión en los cambiadores de calor.
- Para la finalización de la práctica el agua que se desecha del tanque queda esparcida sobre el piso, se recomienda una canaleta en laboratorio o un sistema de desagüe más amplio.

3.2 Procedimiento de la práctica para prueba. (Manual y prácticas ICW, 2019)

3.2.1 Medidas de seguridad.

1. El estudiante deberá utilizar bata, lentes de seguridad (goggles) y uso de botas o zapatos de suela dura durante la práctica.
2. El estudiante deberá ver el video de descripción del equipo “Transferencia de calor Wards Steam” (que se encuentra en el blog del laboratorio) previo a la práctica. La liga es:
<https://termicayfluidos12.blogspot.com/2019/10/transferencia-de-calor.html>
3. El equipo será preparado previamente por el personal Técnico del laboratorio para garantizar el correcto funcionamiento
4. En caso de que el estudiante no esté operando directamente el equipo Wards Steam, deberá permanecer detrás de la línea amarilla marcada en el piso.
5. No tocar tubería del equipo Wards Steam
6. **Por ningún motivo** abra al mismo tiempo las válvulas de entrada de agua y aire para enfriamiento
7. El sistema de adquisición de datos podrá ser operado por estudiantes de servicio social, o de la asignatura de Transferencia de Calor, teniendo previamente las instrucciones del personal Técnico

3.2.2 Métodos para la realización de la práctica.

En el desarrollo de la práctica se emplearán dos métodos diferentes de transferencia de calor y cada uno con diferentes fluidos.

Método 1: Flujo paralelo.

Para este método el medio de enfriamiento debe viajar paralelo al medio de calentamiento, para ello se debe abrir las válvulas J y G, cerrar las válvulas H y K.

Método 2: Contraflujo.

Para este método el medio de enfriamiento debe viajar en sentido opuesto al medio de calentamiento, para ello se debe abrir las válvulas H y K, cerrar las válvulas J y G.

3.2.3 Procedimiento de preparación de válvulas para el fluido de calentamiento en el equipo ICW.

- Para 4 pasos en vapor de calentamiento, abrir las válvulas A y B, cerrar las válvulas C, D y E.
- Para 8 pasos en vapor de calentamiento, abrir válvulas A, D y E, cerrar las válvulas C, B y F.
- Para 8 pasos en agua de calentamiento, abrir válvulas H y K, cerrar las válvulas A, B y E.

3.2.4 Procedimientos para suministros de fluidos.

Asegurar que haya suficiente cantidad de **agua** o **aire** refrigerante disponible en la entrada.

- 1) Ajustar la válvula para flujo paralelo o contraflujo como se mencionó anteriormente.
- 2) Abrir todas las válvulas de descarga incluidas las de tuberías externas, ya sea para descarga de **aire** o **agua**.
- 3) Abrir la válvula de **aire** o **agua**, asegúrese que si se usa aire, la válvula de entrada de agua se encuentre cerrada, y que si se usa agua la válvula de entrada de aire este cerrada.
- 4) Iniciar el sistema de enfriamiento de agua o el suministro de aire según sea necesario.
- 5) Con el medio refrigerante fluyendo, controlar la velocidad de flujo aproximado a la dada en los ejemplos de prueba o a la requerida para una prueba en particular. El flujo debe ser controlado por la válvula de descarga y no por la válvula de entrada, esto asegura que el medio refrigerante llene el sistema por completo.

Importante: Hay que asegurarse de que el medio de enfriamiento siempre fluya antes de admitir el medio de calentamiento. Esto es para evitar el sobrecalentamiento del sistema.

3.2.5 Arranque del equipo.

En el medio de calentamiento se llegan a usar dos fluidos: agua caliente y vapor. Dependiendo el cual se requiera seguir las siguientes recomendaciones.

Agua caliente

- 1) El sistema debe llenarse abriendo la válvula del suministro de agua red pública al tanque de condensados. A medida que el tanque de condensados se llena, automáticamente cubrirá el sistema de calentamiento. El calentador

y la tubería están equipados con válvulas de liberación de aire automáticas para descargar el aire del sistema a medida que se llena.

- 2) Ajustar las válvulas para el suministro de agua caliente de 8 pasos, y aislé las válvulas de entrada y salida de vapor como se mencionó.
- 3) Encender la bomba de circulación y el agua llenará el sistema y descargará el aire automáticamente.
- 4) Una vez que el sistema este estabilizado, apagar la bomba.
- 5) Encender el calentador eléctrico. El agua en el tanque aumentará de temperatura hasta que alcance una temperatura preestablecida donde el calentador se apagará hasta que se requiera calor nuevamente.

Importante: Asegúrese que el medio de enfriamiento fluya a través del sistema.

- 6) Encender la bomba de circulación y controle el flujo nuevamente con la válvula de descarga a la que se proporciona en los ejemplos⁴ o según sea necesario.
- 7) El flujo de agua caliente debe controlarse para mantener una lectura de temperatura constante en la entrada. Esto se puede lograr variando el flujo de agua caliente o variando el flujo del medio de enfriamiento.
- 8) Tabular todas las lecturas como se muestra en los ejemplos de prueba dentro del capítulo V.

Importante: Permita que el sistema se caliente y mantenga condiciones estables.

Vapor

- 1) Asegurar que el medio de enfriamiento fluya a través del sistema.
- 2) Cerrar la válvula de entrada de agua caliente, abrir la válvula de drenaje en la descarga, incluidas las válvulas en las tuberías externas.
- 3) Ajustar las válvulas para el suministro de vapor la 4 u 8 pasos como se mencionó anteriormente, apoyándose en la figura 20.
- 4) Encender el condensador y asegúrese de que todas las válvulas en la línea de escape desde el intercambiador calor al condensador estén abiertas y que cualquier otra válvula en el sistema de escape de otros equipos este cerrada.

⁴ Los ejemplos se pueden visualizar dentro del capitulo V, también se puede encontrar en el manual del ICW en la cual se encuentra en la siguiente liga:

<https://drive.google.com/file/d/0B52Pg9wzV5YYUWgyNUZfelRwWTg/view>

- 5) Nuevamente asegurar de que el medio de enfriamiento fluya a través del sistema.
- 6) Abrir lentamente la válvula de entrada de vapor.
- 7) Permitir que el sistema se caliente completamente.
- 8) Cuando se haya descargado todo el condensado del sistema, cerrar todas las válvulas de drenaje. Esto permitirá que aumente el vacío del condensador.
- 9) El vapor y el medio de enfriamiento deben controlarse para obtener una diferencia de temperatura adecuada.

Notas:

- El flujo de vapor debe medirse mediante un condensador externo donde el vapor se condensa, recoge y mide.
 - Es importante que no se permita que el vapor no cambie de estado; si esto sucede la tasa de transferencia de calor será diferente y todas las curvas de diferencia de temperatura se romperán.
 - Es muy importante que no se permita que el agua de enfriamiento alcance una temperatura lo suficientemente alta como para provocar la formación de vapor, ya que esto cambia nuevamente su estado y difiere la velocidad de transferencia de calor.
- 10) En algunos casos pueden ser necesario cerrar prácticamente la válvula de salida de vapor para mantener condiciones estables, pero en todo momento se debe permitir el flujo de los dos medios.
 - 11) Dar tiempo para que el sistema se caliente por completo y mantenga condiciones estables.
 - 12) Proceder a registrar las lecturas de los termómetros en las tablas de lecturas.

3.2.6 Finalización y paro del equipo.

Agua caliente.

- 1) Apagar el calentador eléctrico.
- 2) Deje enfriar el agua caliente disipando su calor al medio de enfriamiento.
- 3) Cuando el agua caliente se haya enfriado apague la bomba de circulación.
- 4) Permita que fluya el medio de enfriamiento hasta que todo el calor residual haya sido absorbido.
- 5) Apague el medio de enfriamiento.

Vapor.

- 1) Cierre la válvula de entrada de vapor.
- 2) Cuando se reduzca la presión de vapor abra todas las válvulas de drenaje.
- 3) Apague el condensador.
- 4) Permita que fluya el medio de enfriamiento hasta que todo el calor residual haya sido absorbido.
- 5) Apague el medio de enfriamiento
- 6) Deje las válvulas de drenaje de vapor abiertas.

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento, y teniendo resultados satisfactorios, se procedió a preparar la adaptación del sistema de adquisición de datos para la conectividad a una computadora Laptop con señales de termopares y un módulo de DAQ con envío de señales a la plataforma elaborada con Labview.

Este sistema DAQ quedará a disposición de dos borneras que estarán en ICW, cuando se requiera su uso solamente se conectará las borneras al dispositivo DAQ, y de la DAQ a la Laptop, este equipo se proporcionará de parte del Laboratorio L2. En el capítulo V se verá con detalle el procedimiento del uso del sistema de adquisición de datos.

La adaptación tiene la finalidad de recopilar datos mediante un solo botón y el envío de los cálculos obtenidos en la computadora para la posterior comparación con los ensayos hechos a mano. Lo significativo son los resultados obtenidos empleando las ecuaciones correspondientes y que se dan en el siguiente capítulo.

3.2.7 Recomendaciones.

Las siguientes recomendaciones son importantes que se tomen en cuenta en cada práctica.

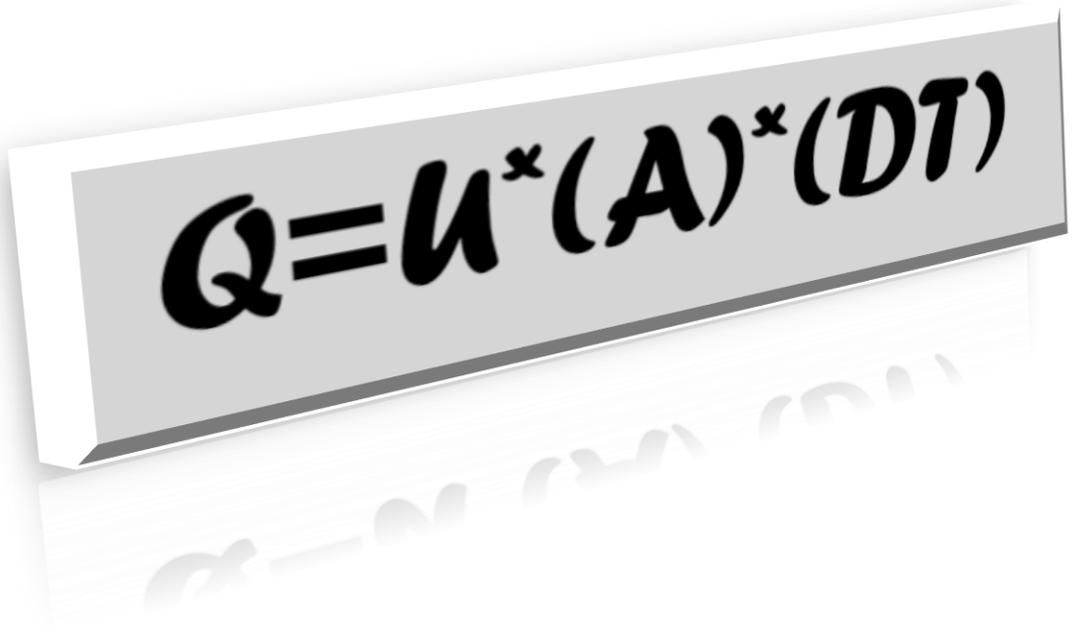
- Se recomienda que el estudiante al realizar la práctica utilice los mismo fluidos y flujo volumétrico tanto de calentamiento y refrigeración, para ambos métodos de intercambio de calor, dicho de otra manera, si en la primera prueba se utiliza el método de flujo cruzado sin un cambio de fluido, en la segunda prueba utilizar los mismos fluidos y flujo volumétrico pero en este caso en contraflujo.
- Se recomienda emplear la transferencia de calor con ocho pasos para tener una gama amplia de lecturas y se pueda realizar una gráfica bien definida.
- Controlar los caudales con las válvulas de salida, nunca con los de entrada. Esto último para evitar aire en el sistema, si es que se trabaja con agua y que no genere cambios de fase cuando se trabaja con vapor.
- Para el uso de agua caliente:

- Para poder tener una mejor toma de lecturas y que la realización de la práctica ocupe el menor tiempo necesario, se debe hacer circular el agua cuando la temperatura del tanque de calentamiento llegue por lo menos a 50°C, mediante la bomba y por periodos cortos de tiempo hasta llegar al rango de temperatura adecuada (aproximadamente 70°C – 75°C), ya que, si se llegara a los 80°C el termostato apagaría las resistencias térmicas, lo cual provoca que se tarde en volver a activar y hubiera pérdida de tiempo. Mientras las resistencias térmicas estén trabajando no es necesaria la circulación del fluido de enfriamiento antes de llegar a la temperatura adecuada.
- Usar caudales bajos no mayores a treinta litros por minuto y mantener una temperatura de 70°C-75 °C en el tanque de calentamiento.
- Si es posible, antes de la realización de la práctica, el académico encargado del equipo llenaría el sistema de agua caliente y la activación de las resistencias, así, se reduciría el tiempo de práctica y aumentaría el número de lecturas.
- Para el uso de vapor:
 - No permitir que el vapor cambie de estado.
 - Cuando este circulando el vapor dentro del intercambiador, también debe circular el de enfriamiento.

Para el uso de la adquisición de datos se puede conectar desde el inicio de la práctica e ir monitoreando las temperaturas, mientras se prepara el sistema de calentamiento del equipo.

Capítulo IV

Cálculos requeridos para las prácticas


$$Q = U * (A) * (DT)$$

Los cálculos a emplear para las prácticas son de la ecuación de transferencia de calor, estos cálculos se pueden encontrar en el manual de usuario del equipo de Transferencia de Calor Wards Steam.

La liga es:

<https://drive.google.com/file/d/0B52Pg9wzV5YYUWgyNUZfelRwWTg/view>

4.1 Análisis del Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

Teniendo la ecuación de calor o transferencia de calor en función del *coeficiente global de transferencia de calor* (U) se hará el siguiente análisis termodinámico, donde el objetivo es conocer el valor de U .

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la transferencia de calor en evaporadores de los enfriadores de líquido y en condensadores enfriados por agua.

$$\dot{Q} = U * A_m * T_m \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

\dot{Q} = Cantidad de flujo de calor. [kW]

U = Coeficiente global de transferencia de calor. $\left[\frac{kW}{m^2 * ^\circ C} \right]$

A_m = Área Media de la superficie de enfriamiento del tubo interno. [m²]

T_m = Diferencia de temperatura media logarítmica. [°C]

Para saber el valor de U , se debe conocer primero los demás términos de la ecuación de calor (ecuación 1). Enseguida se fragmentará la ecuación 1 por cada uno de sus términos, para poder saber cómo calcularlos en la realización de cada prueba.

4.1.1 Cálculo de Diferencia de Temperatura Media Logarítmica.

La temperatura del fluido que circula por la tubería está en continuo proceso de cambio, y por consiguiente la diferencia de temperaturas entre los dos fluidos no es constante. Es preciso determinar la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (DTML) para ser utilizada en la ecuación 1. De primera intención, podría parecer que se debería utilizar la diferencia promedio aritmética de la temperatura. Sin embargo, esto no sucede así, debido a que la temperatura del fluido cambia con mayor rapidez al principio y luego más gradualmente.

El cálculo de este término se puede hallar de la siguiente manera:

$$T_m = \frac{\Delta T_i - \Delta T_f}{\ln\left(\frac{\Delta T_i}{\Delta T_f}\right)} \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

ΔT_i = Diferencia de temperaturas iniciales. [°C]

ΔT_f = Diferencia de temperaturas de salida. [°C]

Las diferencia de temperatura tanto de entrada y salida se refiere al valor que da la resta del fluido de calentamiento y el fluido de enfriamiento, en los extremos del cambiador de calor.

Para conocer cada diferencia de temperatura se expresa de la siguiente manera.

$$\Delta T_i = T_{i_h} - T_{i_c} \quad (\text{ecuación 3})$$

$$\Delta T_f = T_{f_h} - T_{f_c} \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

T_{i_h} = Temperatura inicial del fluido de calentamiento. [°C]

T_{i_c} = Temperatura inicial del fluido de enfriamiento. [°C]

T_{f_h} = Temperatura final del fluido de calentamiento. [°C]

T_{f_c} = Temperatura final del fluido de enfriamiento. [°C]

Conociendo los valores de la ecuación 3 y ecuación 4 se puede sustituir en la ecuación 2 y se tendría una nueva ecuación:

$$DTML = T_m = \frac{(T_{i_h} - T_{i_c}) - (T_{f_h} - T_{f_c})}{\ln\left(\frac{(T_{i_h} - T_{i_c})}{(T_{f_h} - T_{f_c})}\right)} \quad (\text{ecuación 5})$$

4.1.2 Cálculo del Área Media de la superficie de calentamiento.

La superficie de contacto es diferentes para ambos fluidos que circulan dentro de la tubería, y las dimensiones de la tubería permanecen constante a lo largo de la práctica.

De la misma manera que el cálculo de la DTML, no se utilizará la diferencia promedio aritmética, esto se debe a que el área de contacto en el intercambio de calor no es constante, si no que varía con la distancia. Es preciso determinar el área media logarítmica para también ser utilizada en la ecuación 1.

El cálculo del área de contacto se puede hallar de la siguiente manera:

$$A_m = d_m * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 6})$$

Donde:

$$d_m = \text{Diámetro medio logarítmico.} \quad [m]$$

$$l = \text{Longitud de superficie donde se realiza el intercambio de calor.} \quad [m]$$

$$n = \text{Número de tubos.} \quad [-]$$

$$\pi = 3.1416. \quad [-]$$

El Diámetro Medio Logarítmico (DML) está en función por los diámetros de la tubería en calentamiento el externo e interno. Como se muestra en la siguiente ecuación.

$$d_m = \frac{d_o - d_i}{\text{Ln} \left(\frac{d_o}{d_i} \right)} \quad (\text{ecuación 7})$$

Donde:

$$d_o = \text{Diámetro externo del tubo de calentamiento.} \quad [mm]$$

$$d_i = \text{Diámetro interno del tubo de calentamiento.} \quad [mm]$$

Para que el resultado sea en las unidades adecuadas, se realizará una conversión en las unidades dentro de la ecuación, ya que, los diámetros de la tubería se hallan en milímetros y se requiere que el Diámetro Medio Logarítmico sea en metros.

Si se sabe que 1 metro es igual a 1000 milímetros.

Por lo tanto:

$$d_m = \frac{d_o - d_i}{\text{Ln} \left(\frac{d_o}{d_i} \right)} \left(\frac{1[m]}{1000[mm]} \right) \quad (\text{ecuación 8})$$

Conociendo el valor de cada uno de los diámetros, se podrá evaluar el Diámetro Medio Logarítmico (ecuación 8), y poder sustituirlo en la ecuación 6.

Si se sustituye la ecuación 8 en la ecuación 6, se tendría una nueva ecuación en donde solamente se sustituirán los valores.

$$A_m = \frac{d_o - d_i}{\text{Ln} \left(\frac{d_o}{d_i} \right)} \left(\frac{1[m]}{1000[mm]} \right) * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 9})$$

La ecuación 9 es la adecuada para el cálculo rápido del Área Media Logarítmica.

4.1.3 Cálculo de flujo de calor.

El calor es simplemente una forma de energía que puede medirse únicamente en términos del efecto que produce. En este caso la siguiente expresión, es la relación de la ecuación de calor sensible en calorimetría.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * C_p * (T_{f_c} - T_{i_c}) \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

\dot{m}_c = Flujo másico de enfriamiento.	$\left[\frac{kg}{s} \right]$
C_p = Calor específico del fluido, 4.18 si el fluido fuera agua.	$\left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$
T_{f_c} = Temperatura final del fluido de enfriamiento.	$[^\circ C]$
T_{i_c} = Temperatura inicial del fluido de enfriamiento.	$[^\circ C]$

El calor sensible se refiere al calor que tiene como resultado un cambio de temperatura para el sistema, sin que se presente un cambio de fase.

A lo largo de la realización de la práctica los datos que se presentan en el rotámetro es en $[L/min]$ unidades en las cuales son de flujo volumétrico, el gasto se debe tener en unidades de flujo másico.

La siguiente expresión representa la semejanza que se tiene un flujo volumétrico a flujo másico, con las unidades requeridas.

$$\dot{m}_c \left[\frac{kg}{s} \right] = \dot{V}_c \left[\frac{L}{min} \right] * \frac{1 [min]}{60[s]} * \frac{1[m^3]}{1000[L]} * \rho_c \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Reduciendo unidades

$$\dot{m}_c \left[\frac{kg}{s} \right] = \dot{V}_c \left[\frac{L}{min} \right] * \frac{1}{60000} \left[\frac{min * m^3}{s * L} \right] * \rho_c \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Entonces:

$$\dot{m}_c = \dot{V}_c * \frac{1}{60000} * \rho_c \quad (\text{ecuación 11})$$

Donde:

\dot{V}_c = Flujo volumetrico de enfriamiento.

ρ_c = Densidad de fluido de enfriamiento.

$\frac{1}{60000}$ = Constante para la conversión de unidades.

$$\left[\frac{L}{min} \right] \left[\frac{kg}{m^3} \right] \left[\frac{min * m^3}{s * L} \right]$$

La ecuación 11 se sustituye en la ecuación 10, para tener la ecuación adecuada a los datos que se obtienen de la prueba.

$$\dot{Q} = \dot{V}_c * \frac{1}{60000} \left[\frac{min * m^3}{s * L} \right] * \rho_c * Cp * (T_{fc} - T_{ic}) \quad (\text{ecuación 12})$$

La nueva ecuación 12 es para la obtención del cálculo rápido del calor obtenido del fluido de enfriamiento.

Nota: La ecuación 11 y ecuación 12 solo son útiles para caudalímetro con unidades en $\left[\frac{L}{min} \right]$

Análisis.

De lo anterior mencionado se puede decir que ya se conoce la Diferencia de Temperaturas Media Logarítmica, Área Media Logarítmica y la cantidad de calor, solo faltaría la obtención de (U).

Cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor.

El coeficiente global de transferencia de calor, (U) conocido también como la conductancia térmica total es el recíproco de la resistencia térmica completa.

El cálculo de (U) se obtendrá de la siguiente manera.

De la ecuación 1, se despejara (U).

$$\dot{Q} = U * A_m * T_m \quad (\text{ecuación 1})$$

Despejando U, quedará de la siguiente manera:

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * T_m} \quad (\text{ecuación 13})$$

De la ecuación 13, se sustituirán los datos obtenidos de las ecuaciones vistas para la obtención del coeficiente global de transferencia de calor.

Por lo tanto el resultado del análisis es:

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * t_m} \quad \left[\frac{kW}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

En el siguiente capítulo se muestran pruebas del equipo donde se aplican las ecuaciones vistas, para ello, se debe tomar en cuenta la siguiente nota.

NOTA:

- En el método de flujo paralelo, las temperaturas iniciales comienzan en el termómetro 1 para el flujo caliente, y para el flujo frío en el termómetro 10. Las temperaturas finalizan en el termómetro 9 para el flujo caliente, y en el termómetro 18 para el flujo frío.
- En el método de contraflujo, las temperaturas iniciales comienzan en el termómetro 9 para el flujo caliente, y para el flujo frío en el termómetro 18. Las temperaturas finalizan en el termómetro 1 para el flujo caliente y en el termómetro 10 para el flujo frío. Ver figura 20.

Capítulo V

Demostración del funcionamiento con y sin sistemas de adquisición de datos.



En el manual del equipo ICW, se mencionan cuatro pruebas en la que a continuación se van a desarrollar, además de, un par de pruebas reales que se realizaron después del mantenimiento, asimismo, las instrucciones que se deben realizar para conectar el sistema de adquisición de datos y su uso.

El siguiente link es el blog de laboratorio L2 “Térmica y Fluidos”, en él se puede encontrar el manual del equipo ICW.

<https://termicayfluidosl2.blogspot.com/2019/10/transfereencia-de-calor.html>

5.1 Demostración del funcionamiento sin sistema de adquisición de datos.

5.1.1 Prueba 1: Intercambio de calor en flujo paralelo: agua caliente / agua de enfriamiento.

La prueba 1 se realizó con el método de flujo paralelo en el cual el fluido de calentamiento es agua caliente del tanque y el fluido de enfriamiento que se usó fue agua de la red pública. A continuación en la tabla 8 se observan los datos en los que se emplearon los fluidos, y en la tabla 9 las temperaturas que arrojó la toma de lectura, por consiguiente se realizará el análisis que se vio en el capítulo anterior para conocer el valor del coeficiente de transferencia de calor.

Tabla 8. Datos de la prueba 1. (Manual y prácticas ICW, 2019)

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura inicial del fluido de calentamiento	86.33	°C
Temperatura final del fluido de calentamiento	56.67	°C
Flujo del fluido de calentamiento	500	L/h
Temperatura inicial del fluido de enfriamiento	19.00	°C
Temperatura final del fluido de enfriamiento	50.67	°C
Flujo del fluido de enfriamiento	500	L/h
Diámetro exterior del tubo de transferencia	19.05	mm
Diámetro interno del tubo de transferencia	16.612	mm
Longitud de contacto del tubo de transferencia	1	m
Número de tubos	8	-
Cp de enfriamiento	4.18	kJ/kg°C
Densidad del fluido de enfriamiento	1000	kg/m ³

Tabla 9. Lectura de temperaturas de la prueba 1. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Lecturas de temperatura Agua Caliente					Lecturas de temperatura Agua Fría				
#	1	2	3	Media	#	1	2	3	media
1	85	87	87	86.33	10	19	19	19	19.00
2	78	78	79	78.33	11	28	28	28	28.00
3	71	72	72	71.67	12	34	35	35	34.67
4	67	68	68	67.67	13	40	40	40	40.00
5	63	64	65	64.00	14	43	44	44	43.67
6	61	61	61	61.00	15	47	48	48	47.67
7	59	59	60	59.33	16	48	48	48	48.00
8	57	58	58	57.67	17	49	49	50	49.33
9	56	57	57	56.67	18	50	51	51	50.67

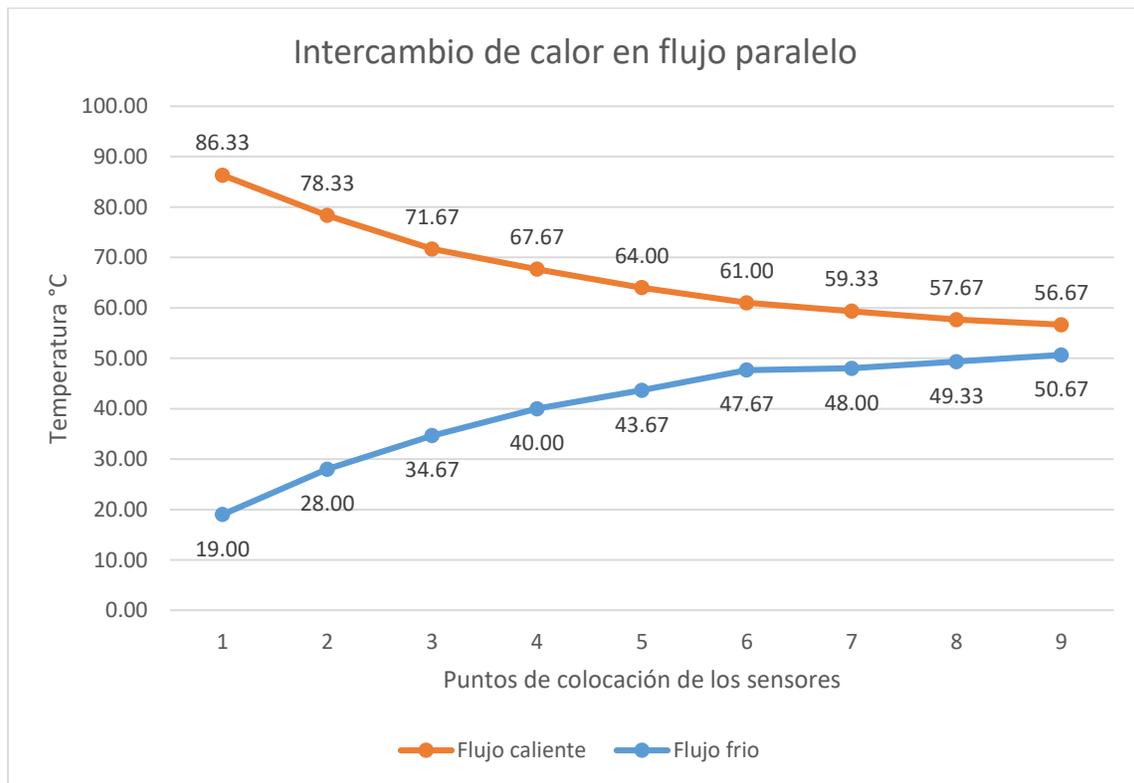


Figura 23. Gráfica 1, Intercambio de calor en flujo paralelo. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Análisis térmico en prueba uno.**Cálculo de Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (DTML).**

Teniendo la ecuación 5 y los datos obtenidos de la tabla 9, como se muestra a continuación.

$$T_m = \frac{(T_{i_h} - T_{i_c}) - (T_{f_h} - T_{f_c})}{\ln\left(\frac{(T_{i_h} - T_{i_c})}{(T_{f_h} - T_{f_c})}\right)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$T_{i_h} = 86.33[^\circ\text{C}]$$

$$T_{i_c} = 19[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_h} = 56.67[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_c} = 50.67[^\circ\text{C}]$$

Sustituyendo los datos de temperatura en la ecuación 5, tendremos la siguiente ecuación a resolver:

$$T_m = \frac{(86.33[^\circ\text{C}] - 19[^\circ\text{C}]) - (56.67[^\circ\text{C}] - 50.67[^\circ\text{C}])}{\ln\left(\frac{86.33[^\circ\text{C}] - 19[^\circ\text{C}]}{56.67[^\circ\text{C}] - 50.67[^\circ\text{C}]}\right)}$$

$$T_m = \frac{(67.33[^\circ\text{C}]) - (6[^\circ\text{C}])}{\ln\left(\frac{67.33[^\circ\text{C}]}{6[^\circ\text{C}]}\right)}$$

$$T_m = \frac{61.33[^\circ\text{C}]}{\ln(11.222)}$$

$$T_m = \frac{61.33[^\circ\text{C}]}{2.418}$$

Por lo tanto el resultado de DTML es:

$$T_m = 25.364 [^\circ\text{C}]$$

Cálculo del Área Media Logarítmica donde se efectúa el intercambio de calor.

Utilizando la ecuación 6 y 7, y los datos de la prueba se determinará la superficie donde se transfiere la energía.

$$A_m = d_m * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 6})$$

Donde:

$$d_m = \text{Diámetro medio logarítmico [m]}$$

$$l = 1000 \text{ [m]}$$

$$n = 8$$

$$\pi = 3.1416$$

$$d_m = \frac{d_o - d_i}{\text{Ln}\left(\frac{d_o}{d_i}\right)} \quad (\text{ecuación 7})$$

Donde:

$$d_o = 19.05 \text{ [mm]}$$

$$d_i = 16.612 \text{ [mm]}$$

- a) Obtención del diámetro medio logarítmico con base en la ecuación 7. Sustituyendo los datos de diámetros, tendremos la siguiente ecuación a resolver:

$$d_m = \frac{d_o - d_i}{\text{Ln}\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}$$

$$d_m = \frac{19.05 \text{ [mm]} - 16.612 \text{ [mm]}}{\text{Ln}\left(\frac{19.05 \text{ [mm]}}{16.612 \text{ [mm]}}\right)}$$

$$d_m = \frac{2.438 \text{ [mm]}}{\text{Ln}(1.147)}$$

$$d_m = \frac{2.438 \text{ [mm]}}{(0.137)}$$

$$d_m = 17.796 \text{ [mm]}$$

El diámetro medio logarítmico se debe de tener en unidades de metro, así que, se usará la conversión de unidades que se vio en la ecuación 8.

$$d_m = 17.796 \text{ [mm]} \left(\frac{1 \text{ [m]}}{1000 \text{ [mm]}} \right)$$

Por lo tanto el resultado del diámetro medio logarítmico es

$$d_m = 0.018 \text{ [m]}$$

b) Cálculo de Área Media Logarítmica.

$$A_m = d_m * l * n * \pi$$

A continuación se resolverá la ecuación 6 Sustituyendo datos del diámetro medio logarítmico, longitud y número de tubos.

$$A_m = 0.018[m] * 1[m] * 8 * \pi$$

Por lo tanto el resultado de la superficie de contacto media logarítmica es:

$$A_m = 0.452 [m^2]$$

Cálculo de flujo de energía.

Para este cálculo se utilizará la ecuación 10 y los datos de la prueba ya conocidos.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * C_p * (T_{f_c} - T_{i_c}) \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$\dot{m}_c = \text{Flujo másico de enfriamiento} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$C_p = 4.18 \left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{f_c} = 50.67 [^\circ C]$$

$$T_{i_c} = 19.00 [^\circ C]$$

El flujo másico no se tiene directamente en la tabla 8 de datos, así que, se debe calcular con base en el flujo volumétrico.

Si

$$\dot{V}_c = 500 [L/h]$$

Entonces y suponiendo que la densidad del agua es $1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$$\dot{m}_c = 500 \left[\frac{L}{h} \right] \left(\frac{1[h]}{3600[s]} \right) \left(\frac{1[m^3]}{1000[L]} \right) \left(1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \right)$$

Por lo tanto:

$$\dot{m}_c = 0.139 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Sustituyendo flujo másico, calor específico y temperaturas en la ecuación 10, queda de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = \left(0.139 \left[\frac{kg}{s}\right]\right) \left(4.18 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right]\right) (50.67[{}^{\circ}C] - 19[{}^{\circ}C])$$

Por lo tanto el resultado del flujo de calor es:

$$\dot{Q} = 18.401 [kW]$$

Cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor.

Utilizando la ecuación 13 y los datos obtenidos anteriormente se obtendrá U

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * T_m} \quad (\text{ecuación 13})$$

Donde:

$$T_m = 25.364[{}^{\circ}C]$$

$$A_m = 0.452[m^2]$$

$$\dot{Q} = 18.401[kW]$$

Sustituyendo los datos en la ecuación.

$$U = \frac{18.401 [kW]}{0.452[m^2] * 25.364[{}^{\circ}C]}$$

$$U = \frac{18.401 [kW]}{11.465 [m^2{}^{\circ}C]}$$

$$U = 1.605 \left[\frac{kW}{m^2{}^{\circ}C}\right]$$

Por lo tanto el Coeficiente Global de Transferencia de Calor queda de la siguiente manera:

$$U = 1.605 \left[\frac{kW}{m^2{}^{\circ}C}\right]$$

5.1.2 Prueba 2: Intercambio de calor en contra flujo: agua caliente / agua de enfriamiento.

La prueba 2 se realizó con el método de contra flujo en el cual se usan los mismos fluidos que la prueba anterior. En la tabla 10 se observan los datos en los que se emplearon los fluidos, se puede notar que algunos datos son similares a la prueba 1, especialmente el flujo de los fluidos, y en la tabla 11 las temperaturas que arrojó la toma de lectura, por consiguiente se realizará el análisis que se vio en el capítulo anterior para conocer el valor del coeficiente de transferencia de calor.

Tabla 10. Datos de la prueba 2. (Manual y prácticas ICW, 2019)

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura inicial del fluido de calentamiento	51.00	°C
Temperatura final del fluido de calentamiento	81.33	°C
Flujo del fluido de calentamiento	500	L/h
Temperatura inicial del fluido de enfriamiento	19.00	°C
Temperatura final del fluido de enfriamiento	56.00	°C
Flujo del fluido de enfriamiento	500	L/h
Diámetro exterior del tubo de transferencia	19.05	mm
Diámetro interno del tubo transferencia	16.612	mm
Longitud de contacto del tubo de transferencia	1	m
Número de tubos	8	-
Cp de enfriamiento	4.18	kJ/kg°C
Densidad del fluido de enfriamiento	1000	kg/m ³

Tabla 11. Lectura de temperaturas de la prueba 2. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Lecturas de temperatura Agua Caliente					Lecturas de temperatura Agua Fría				
#	1	2	3	Media	#	1	2	3	Media
1	82	81	81	81.33	10	56	56	56	56.00
2	78	78	78	78.00	11	51	51	51	51.00
3	75	74	74	74.33	12	47	47	47	47.00
4	70	70	70	70.00	13	42	42	42	42.00
5	66	66	66	66.00	14	37	37	37	37.00
6	63	63	62	62.67	15	34	33	34	33.67
7	59	58	58	58.33	16	29	29	29	29.00
8	55	55	55	55.00	17	23	23	23	23.00
9	51	51	51	51.00	18	19	19	19	19.00

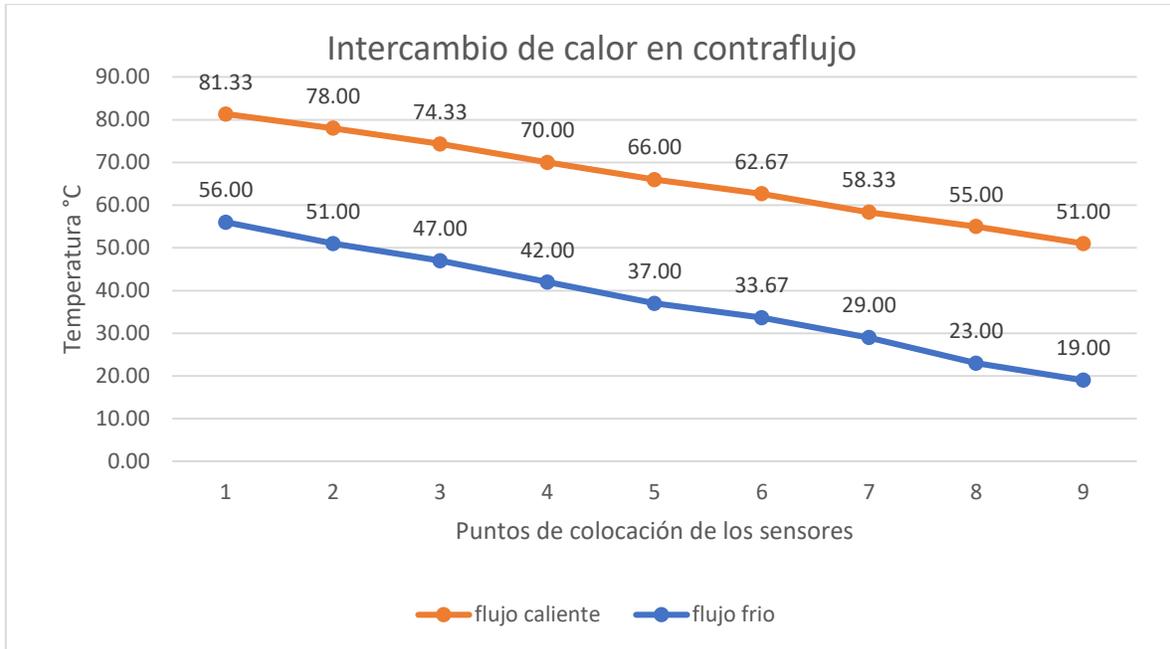


Figura 24. Gráfica 2, Intercambio de calor en contraflujo. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Análisis térmico en flujo paralelo.

Cálculo de Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (DTML).

Teniendo la ecuación 5 y los datos de la tabla 11, como se muestra a continuación:

$$T_m = \frac{(T_{i_h} - T_{i_c}) - (T_{f_h} - T_{f_c})}{\ln\left(\frac{(T_{i_h} - T_{i_c})}{(T_{f_h} - T_{f_c})}\right)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$T_{i_h} = 51[^\circ\text{C}]$$

$$T_{i_c} = 19[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_h} = 81.33[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_c} = 56[^\circ\text{C}]$$

Sustituyendo datos de temperatura en la ecuación 5, tendremos la siguiente ecuación a resolver:

$$T_m = \frac{(51[^\circ\text{C}] - 19[^\circ\text{C}]) - (81.33[^\circ\text{C}] - 56[^\circ\text{C}])}{\ln\left(\frac{51[^\circ\text{C}] - 19[^\circ\text{C}]}{81.33[^\circ\text{C}] - 56[^\circ\text{C}]}\right)}$$

$$T_m = \frac{(32 \text{ [}^\circ\text{C]}) - (25.33 \text{ [}^\circ\text{C]})}{\ln\left(\frac{32 \text{ }^\circ\text{C}}{25.33 \text{ }^\circ\text{C}}\right)}$$

$$T_m = \frac{6.67 \text{ [}^\circ\text{C]}}{\ln(1.263)}$$

$$T_m = \frac{6.67 \text{ [}^\circ\text{C]}}{0.233}$$

Por lo tanto el resultado de DTML es:

$$T_m = 28.627 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Cálculo del Área Media Logarítmica donde se efectúa el intercambio de calor.

El cálculo de la superficie de contacto se realiza con la ecuación 6, este dato puede variar si la prueba se realiza en cuatro u ocho pasos.

$$A_m = d_m * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 6})$$

En este caso, la prueba se realiza a ocho pasos como en la anterior, esto quiere decir que el valor del área ya es un dato conocido.

Por lo tanto el resultado de la superficie de contacto media logarítmica es:

$$A_m = 0.452 \text{ [m}^2\text{]}$$

Cálculo de flujo de energía.

Para este cálculo se utilizará la ecuación 10 y los datos de la prueba ya conocidos.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * C_p * (T_{f_c} - T_{i_c}) \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$\dot{m}_c = \text{Flujo másico de enfriamiento} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$C_p = 4.18 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

$$T_{f_c} = 56 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{i_c} = 19 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

El flujo másico no se tiene directamente en la tabla 10 de datos, así que, se debe calcular con base en el flujo volumétrico.

Si

$$\dot{V}_c = 500 \text{ [L/h]}$$

Este dato ya se calculó anteriormente en la prueba 1. Por lo tanto se sabe el valor del flujo másico.

$$\dot{m}_c = 0.139 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Sustituyendo el dato obtenido, calor específico y temperaturas en la ecuación 10, quedará de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = \left(0.139 \left[\frac{kg}{s} \right] \right) \left(4.18 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right] \right) * (56[^{\circ}C] - 19[^{\circ}C])$$

Por lo tanto el resultado del flujo de calor es:

$$\dot{Q} = 21.498 [kW]$$

Cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor.

Utilizando la ecuación 13 y los datos obtenidos anteriormente, se obtendrá U .

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * T_m} \quad (\text{ecuación 13})$$

Donde:

$$T_m = 28.627[^{\circ}C]$$

$$A_m = 0.452[m^2]$$

$$\dot{Q} = 21.498[kW]$$

Sustituyendo los datos en la ecuación.

$$U = \frac{21.498[kW]}{0.452[m^2] * 28.627[^{\circ}C]}$$

$$U = \frac{21.498[kW]}{12.939 [m^2^{\circ}C]}$$

$$U = 1.661 \frac{[kW]}{[m^2^{\circ}C]}$$

Por lo tanto:

$$U = 1.661 \left[\frac{kW}{m^2^{\circ}C} \right]$$

5.1.3 Prueba 3: Intercambio de calor en flujo paralelo: agua caliente / aire de enfriamiento.

La prueba 3 se realizó con el método de flujo paralelo en el cual el fluido de calentamiento es agua caliente del tanque y el fluido de enfriamiento que se usó fue aire. A continuación en la tabla 12 se observan los datos en los que se emplearon los fluidos, y en la tabla 13 las temperaturas que arrojó la toma de lectura, por consiguiente se realizará el análisis que se vio en el capítulo anterior para conocer el valor del coeficiente de transferencia de calor.

Tabla 12. Datos de la prueba 3. (Manual y prácticas ICW, 2019)

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura inicial del fluido de calentamiento	86.50	°C
Temperatura final del fluido de calentamiento	85.50	°C
Flujo del fluido de calentamiento	1350	L/h
Temperatura inicial del fluido de enfriamiento	34.00	°C
Temperatura final del fluido de enfriamiento	70.00	°C
Flujo del fluido de enfriamiento	8	m ³ /h
Diámetro exterior del tubo de transferencia	19.05	mm
Diámetro interno del tubo transferencia	16.612	mm
Longitud de contacto del tubo de transferencia	1	m
Número de tubos	8	-
Cp de enfriamiento	1.005	kJ/kg°C
Densidad del fluido de enfriamiento	1.28	kg/m ³

Tabla 13. Lectura de temperaturas de la prueba 3. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Lecturas de temperatura Agua Caliente				Lecturas de temperatura Aire			
#	1	2	Media	#	1	2	Media
1	87	86	86.50	10	34	34	34.00
2	87	86	86.50	11	58	58	58.00
3	87	86	86.50	12	73	73	73.00
4	87	86	86.50	13	70	71	70.50
5	86	85	85.50	14	70	71	70.50
6	87	86	86.50	15	68	71	69.50
7	86	85	85.50	16	72	73	72.50
8	86	85	85.50	17	70	71	70.50
9	86	85	85.50	18	70	70	70.00

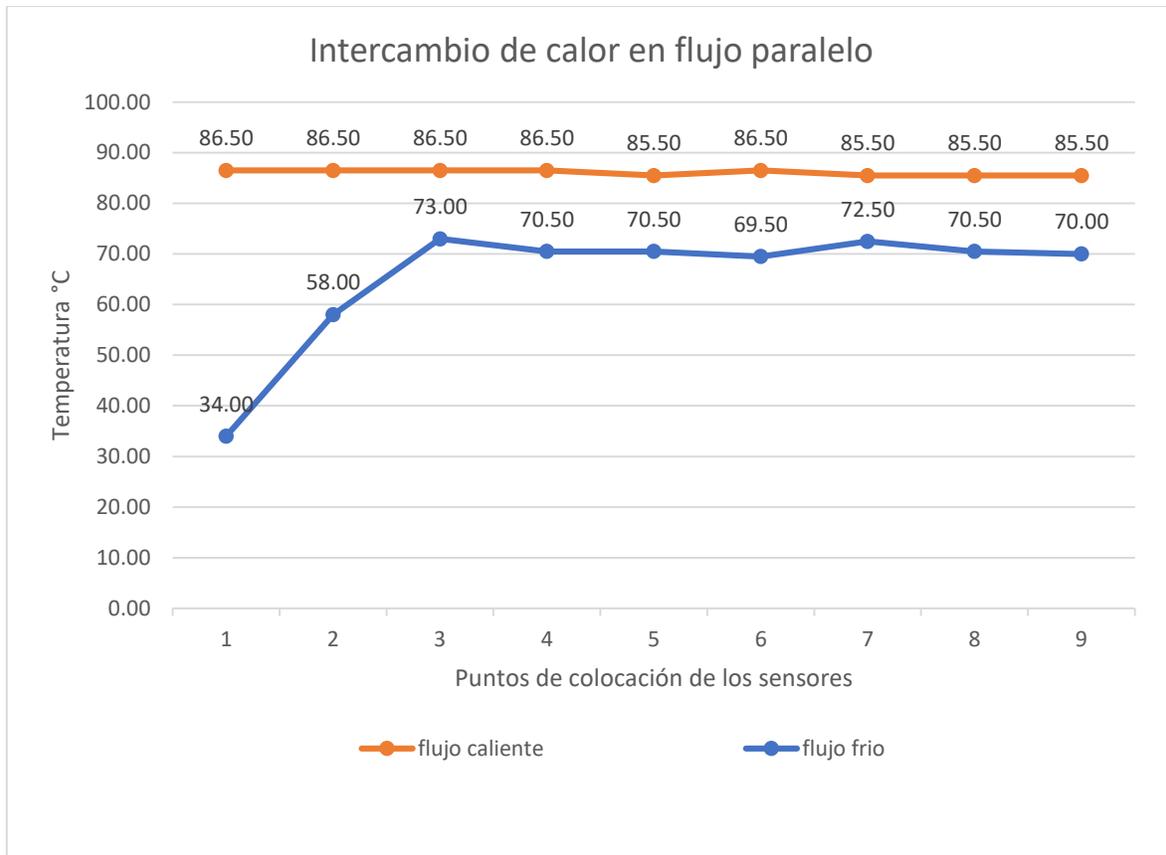


Figura 25. Gráfica 3, Intercambio de calor en flujo paralelo. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Análisis térmico en flujo paralelo.

Cálculo de Diferencia de Temperatura Media Logarítmica.

Empleando la ecuación 5 y los datos obtenidos de la tabla 13, como se muestra a continuación:

$$T_m = \frac{(T_{i_h} - T_{i_c}) - (T_{f_h} - T_{f_c})}{\ln\left(\frac{(T_{i_h} - T_{i_c})}{(T_{f_h} - T_{f_c})}\right)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$T_{i_h} = 86.5[^\circ\text{C}]$$

$$T_{i_c} = 34[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_h} = 85.5[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_c} = 70[^\circ\text{C}]$$

Sustituyendo datos de temperatura en la ecuación 5, tendremos la siguiente ecuación a resolver:

$$T_m = \frac{(86.5 [^{\circ}\text{C}] - 34 [^{\circ}\text{C}]) - (85.5 [^{\circ}\text{C}] - 70 [^{\circ}\text{C}])}{\text{Ln} \left(\frac{86.5 [^{\circ}\text{C}] - 34 [^{\circ}\text{C}]}{85.5 [^{\circ}\text{C}] - 70 [^{\circ}\text{C}]} \right)}$$

$$T_m = \frac{(52.5 [^{\circ}\text{C}]) - (15.5 [^{\circ}\text{C}])}{\text{Ln} \left(\frac{52.5 [^{\circ}\text{C}]}{15.5 [^{\circ}\text{C}]} \right)}$$

$$T_m = \frac{37 [^{\circ}\text{C}]}{\text{Ln}(3.387)}$$

$$T_m = \frac{37 [^{\circ}\text{C}]}{1.22}$$

Por lo tanto el resultado de DTML es

$$T_m = 30.328 [^{\circ}\text{C}]$$

Cálculo del Área Media Logarítmica de superficie donde se efectúa el intercambio de calor.

El cálculo de la superficie de contacto se realiza con la ecuación 6, este dato puede variar si la prueba se realiza en cuatro u ocho pasos.

$$A_m = d_m * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 6})$$

En este caso la prueba se realiza a ocho pasos como en las anteriores, esto quiere decir que el valor del área ya es un dato conocido.

Por lo tanto el resultado de la superficie de contacto media logarítmica es:

$$A_m = 0.452 [m^2]$$

Cálculo de flujo de energía.

Para este cálculo se utilizará la ecuación 10 y los datos de la prueba ya conocidos.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * C_p * (T_{fc} - T_{ic}) \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$\dot{m}_c = \text{Flujo másico de enfriamiento} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$C_p = 4.18 \left[\frac{kJ}{kg * ^{\circ}C} \right]$$

$$T_{fc} = 70 [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{ic} = 34 [^{\circ}\text{C}]$$

El flujo másico no se tiene directamente en la tabla 12 de datos, así que, se debe calcular con base en el flujo volumétrico de la misma tabla.

Si

$$\dot{V}_c = 8 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Entonces y suponiendo que la densidad del aire es $1.28 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$$\dot{m}_c = \left(8 \left[\frac{m^3}{h} \right] \right) \left(\frac{1[h]}{3600[s]} \right) \left(1.28 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \right)$$

$$\dot{m}_c = 2.844 \times 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Sustituyendo el flujo másico, calor específico y temperaturas en la ecuación 10, queda de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = 2.844 \times 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right] \left(1.005 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right] \right) (70[^{\circ}C] - 34[^{\circ}C])$$

Por lo tanto el resultado del flujo de calor es:

$$\dot{Q} = 0.103 [kW]$$

Cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor.

Utilizando la ecuación 13 y sustituyendo los datos obtenidos, se obtendrá U

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * T_m} \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$T_m = 30.328 [^{\circ}C]$$

$$A_m = 0.452 [m^2]$$

$$\dot{Q} = 0.103 [kW]$$

Sustitución

$$U = \frac{0.103[kW]}{0.452[m^2] * 30.328 [^{\circ}C]}$$

$$U = \frac{0.103[kW]}{13.708 [m^2{}^{\circ}C]}$$

$$U = 7.514 \times 10^{-3} \left[\frac{kW}{m^2{}^{\circ}C} \right]$$

Por lo tanto el Coeficiente Global de Transferencia de Calor queda de la siguiente manera:

$$U = 7.514 \times 10^{-3} \left[\frac{kW}{m^2{}^{\circ}C} \right]$$

5.1.4 Prueba 4: Intercambio de calor en contra flujo: agua caliente / aire de enfriamiento.

La prueba 4 se realizó con el método de contra flujo en el cual se usan los mismos fluidos que la prueba anterior. En la tabla 14 se observan los datos en los que se emplearon los fluidos, se puede notar que algunos datos son similares a la prueba 1 especialmente el flujo de los fluidos, y en la tabla 15 las temperaturas que arrojó la toma de lectura, por consiguiente se realizará el análisis que se vio en el capítulo anterior para conocer el valor del coeficiente de transferencia de calor.

Tabla 14. Datos de la prueba 4. (Manual y prácticas ICW, 2019)

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura inicial del fluido de calentamiento	83.00	°C
Temperatura final del fluido de calentamiento	83.50	°C
Flujo del fluido de calentamiento	1350	L/h
Temperatura inicial del fluido de enfriamiento	27.00	°C
Temperatura final del fluido de enfriamiento	76.00	°C
Flujo del fluido de enfriamiento	8	m ³ /h
Diámetro exterior del tubo de transferencia	19.05	mm
Diámetro interno del tubo transferencia	16.612	mm
Longitud de contacto del tubo transferencia	1	m
Número de tubos	8	-
Cp de enfriamiento	1.005	kJ/kg°C
Densidad del Fluido de enfriamiento	1.28	kg/m ³

Tabla 15. Lectura de temperaturas de la prueba 4. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Lecturas de temperatura Agua Caliente				Lecturas de temperatura Agua Fría			
#	1	2	Media	#	1	2	Media
1	84	83	83.50	10	76	76	76.00
2	84	84	84.00	11	76	76	76.00
3	84	84	84.00	12	77	77	77.00
4	84	84	84.00	13	72	73	72.50
5	84	83	83.50	14	73	73	73.00
6	84	83	83.50	15	75	75	75.00
7	84	83	83.50	16	72	72	72.00
8	83	83	83.00	17	67	66	66.50
9	83	83	83.00	18	27	27	27.00

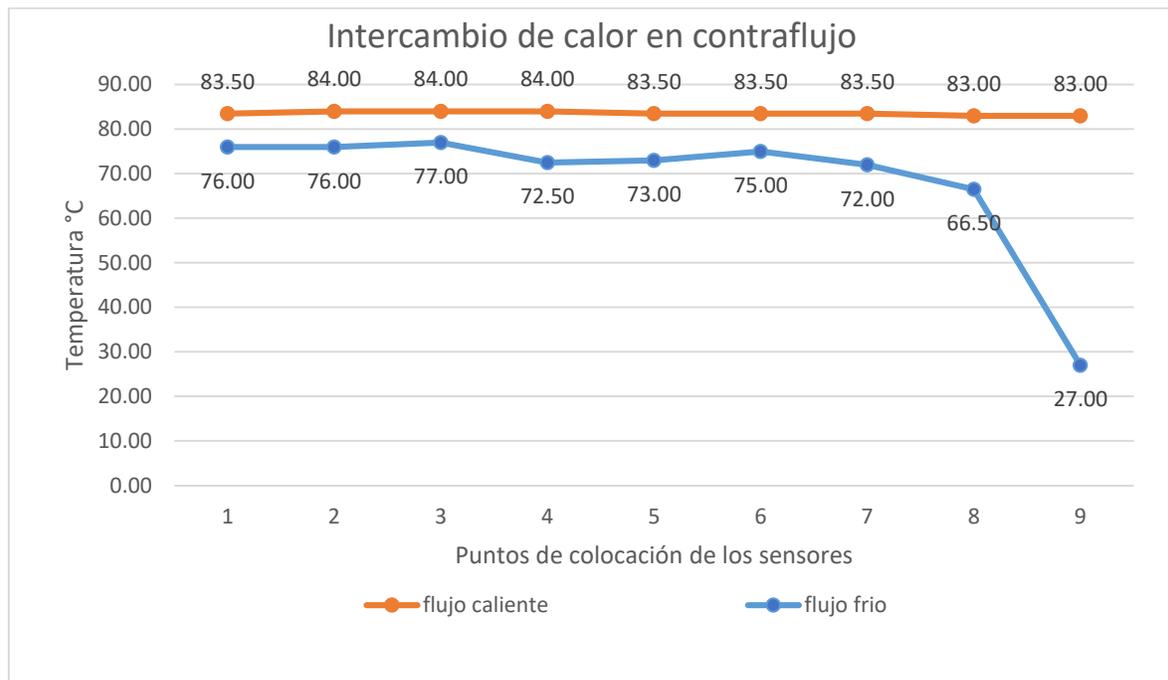


Figura 26. Gráfica 4, Intercambio de calor en contraflujo. (Manual y prácticas ICW, 2019)

Análisis térmico en contra flujo.

Cálculo de Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (DTML).

Empleando la ecuación 5 y los datos de la tabla 15, como se muestra a continuación:

$$T_m = \frac{(T_{i_h} - T_{i_c}) - (T_{f_h} - T_{f_c})}{\ln\left(\frac{(T_{i_h} - T_{i_c})}{(T_{f_h} - T_{f_c})}\right)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$T_{i_h} = 83[^\circ\text{C}]$$

$$T_{i_c} = 27[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_h} = 83.5[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_c} = 76[^\circ\text{C}]$$

Sustituyendo datos de temperatura en la ecuación 5, tendremos la siguiente ecuación a resolver:

Sustituyendo datos de temperatura.

$$T_m = \frac{(83 [^\circ\text{C}] - 27 [^\circ\text{C}]) - (83.5 [^\circ\text{C}] - 76 [^\circ\text{C}])}{\ln\left(\frac{83 [^\circ\text{C}] - 27 [^\circ\text{C}]}{83.5 [^\circ\text{C}] - 76 [^\circ\text{C}]}\right)}$$

$$T_m = \frac{(56 [^\circ\text{C}]) - (7.5 [^\circ\text{C}])}{\ln\left(\frac{56 [^\circ\text{C}]}{7.5 [^\circ\text{C}]}\right)}$$

$$T_m = \frac{48.5 [^\circ\text{C}]}{\ln(7.467)}$$

$$T_m = \frac{48.5 [^\circ\text{C}]}{2.01}$$

Por lo tanto el resultado de DTML es:

$$T_m = 24.129 [^\circ\text{C}]$$

Cálculo del Área Media Logarítmica de superficie donde se efectúa el intercambio de calor.

El cálculo de la superficie de contacto se realiza con la ecuación 6, este dato puede variar si la prueba se realiza en cuatro u ocho pasos.

$$A_m = d_m * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 6})$$

En este caso la prueba se realiza a ocho pasos como en las anteriores, esto quiere decir que el valor del área ya es un dato conocido.

Por lo tanto el resultado de la superficie de contacto media logarítmica es:

$$A_m = 0.452 [m^2]$$

Cálculo de flujo de energía.

Para este cálculo se utilizará la ecuación 10 y los datos de la prueba ya conocidos.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * C_p * (T_{f_c} - T_{i_c}) \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$\dot{m}_c = \text{Flujo másico de enfriamiento} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$C_p = 4.18 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$$

$$T_{f_c} = 76 [^\circ C]$$

$$T_{i_c} = 27 [^\circ C]$$

El flujo másico no se tiene directamente en la tabla 14 de datos, así que, se debe calcular con base en el flujo volumétrico de la misma tabla.

Si

$$\dot{V}_c = 8 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Este dato ya se calculó anteriormente en la prueba 3. Por lo tanto se sabe el valor del flujo másico.

$$\dot{m}_c = 2.844 \times 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Sustituyendo el flujo másico, calor específico y temperaturas en la ecuación 10, queda de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = 2.844 \times 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right] \left(1.005 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right] \right) (76 [^\circ C] - 27 [^\circ C])$$

Por lo tanto el resultado del flujo de calor es:

$$\dot{Q} = 0.140 [kW]$$

Cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor.

Utilizando la ecuación 13, y los datos obtenidos anteriormente, se obtendrá U .

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * T_m} \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$T_m = 24.129[^\circ\text{C}]$$

$$A_m = 0.452[\text{m}^2]$$

$$\dot{Q} = 0.140[\text{kW}]$$

Sustituyendo los datos.

$$U = \frac{0.140 [\text{kW}]}{0.452[\text{m}^2] * 24.129[^\circ\text{C}]}$$

$$U = \frac{0.140 [\text{kW}]}{10.906 [\text{m}^2\text{C}]}$$

$$U = 12.842 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{C}} \right]$$

Por lo tanto el Coeficiente Global de Transferencia de Calor queda de la siguiente:

$$U = 12.842 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{C}} \right]$$

5.1.5 Prueba 5: Intercambio de calor en flujo paralelo: agua caliente / agua de enfriamiento.

La prueba 5, es una prueba real, se realizó con el método de flujo paralelo en el cual el fluido de calentamiento es agua caliente del tanque y el fluido de enfriamiento que se usó fue agua de la red. A continuación en la tabla 16 se observan los datos en los que se emplearon los fluidos, y en la tabla 17 las temperaturas que arrojó la toma de lectura, por consiguiente se realizará el análisis para conocer el valor de coeficiente de transferencia de calor.

Tabla 16. Datos de la prueba 5. (Elaboración propia)

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura inicial del fluido de calentamiento	55.00	°C
Temperatura final del fluido de calentamiento	34.00	°C
Flujo del fluido de calentamiento	20	L/min
Temperatura inicial del fluido de enfriamiento	24.00	°C
Temperatura final del fluido de enfriamiento	29.00	°C
Flujo del fluido de enfriamiento	20	L/min
Diámetro exterior del tubo de transferencia	19.05	mm
Diámetro interno del tubo de transferencia	16.612	mm
Longitud de contacto del tubo de transferencia	1	m
Número de tubos	8	-
Cp de enfriamiento	4.18	kJ/kgK
Densidad del fluido de enfriamiento	1000	kg/m ³

Tabla 17. Lectura de temperaturas de la prueba 5. (Elaboración propia)

Lecturas de temperatura Agua Caliente		Lecturas de temperatura Agua Fría	
#	Lectura (°C)	#	Lectura (°C)
1	55	10	24
2	55	11	24
3	55	12	25
4	49	13	27
5	43	14	28
6	40	15	28
7	37	16	29
8	35	17	28
9	34	18	29

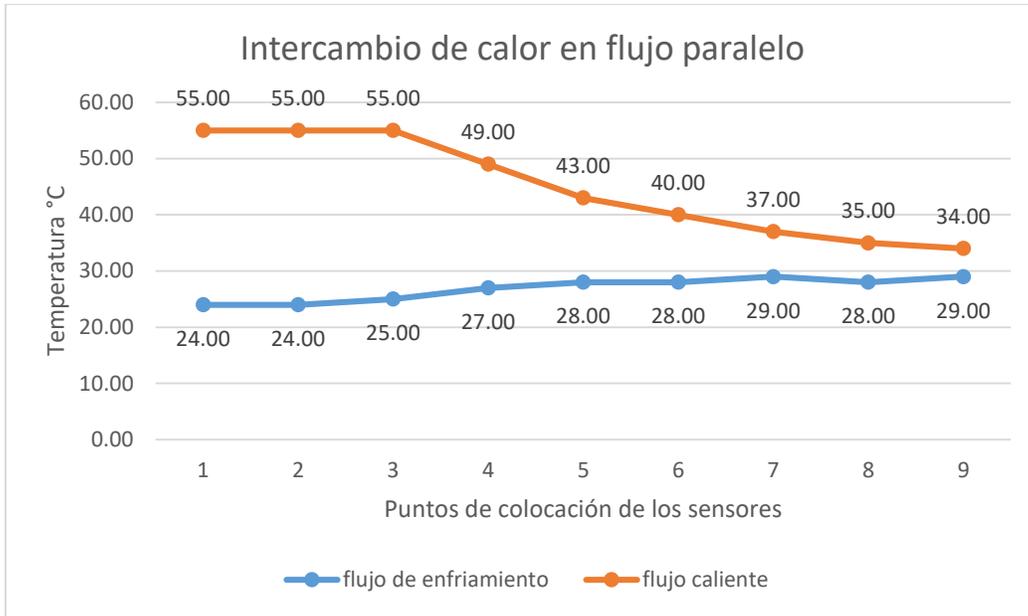


Figura 27. Gráfica 5, Intercambio de calor en flujo paralelo. (Elaboración propia)

Análisis térmico en prueba uno.

Cálculo de Diferencia de Temperatura Media Logarítmica (DTML).

Teniendo la ecuación 5 y los datos de la tabla 17, como se muestra a continuación.

$$T_m = \frac{(T_{i_h} - T_{i_c}) - (T_{f_h} - T_{f_c})}{\ln\left(\frac{(T_{i_h} - T_{i_c})}{(T_{f_h} - T_{f_c})}\right)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$T_{i_h} = 55[^\circ\text{C}]$$

$$T_{i_c} = 24[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_h} = 34[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_c} = 29[^\circ\text{C}]$$

Sustituyendo datos de temperatura en la ecuación 5, tendremos la siguiente ecuación a resolver:

$$T_m = \frac{(55[^\circ\text{C}] - 24[^\circ\text{C}]) - (34[^\circ\text{C}] - 29[^\circ\text{C}])}{\ln\left(\frac{55[^\circ\text{C}] - 24[^\circ\text{C}]}{34[^\circ\text{C}] - 29[^\circ\text{C}]}\right)}$$

$$T_m = \frac{(31[^\circ\text{C}]) - (5[^\circ\text{C}])}{\text{Ln}\left(\frac{31[^\circ\text{C}]}{5[^\circ\text{C}]}\right)}$$

$$T_m = \frac{26[^\circ\text{C}]}{\text{Ln}(6.2)}$$

$$T_m = \frac{26[^\circ\text{C}]}{1.825}$$

Por lo tanto el resultado de DTML es:

$$T_m = 14.247 [^\circ\text{C}]$$

Cálculo del Área Media Logarítmica de la superficie donde se efectúa el intercambio de calor.

El cálculo de la superficie de contacto se realiza con la ecuación 6, este dato puede variar si la prueba se realiza en cuatro u ocho pasos.

$$A_m = d_m * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 6})$$

En este caso la prueba se realiza a ocho pasos como en las anteriores, esto quiere decir que el valor del área ya es un dato conocido.

Por lo tanto el resultado de la superficie de contacto media logarítmica es:

$$A_m = 0.452 [m^2]$$

Cálculo de flujo de energía.

Para este cálculo se utilizará la ecuación 10 y los datos de la prueba ya conocidos.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * Cp * (T_{fc} - T_{ic}) \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$\dot{m}_c = \text{Flujo másico de enfriamiento} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$Cp = 4.18 \left[\frac{kJ}{kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{fc} = 29[^\circ\text{C}]$$

$$T_{ic} = 24[^\circ\text{C}]$$

El flujo másico no se tiene directamente en la tabla 16 de datos, así que, se debe calcular con base en el flujo volumétrico.

Si

$$\dot{V}_c = 20 [L/min]$$

Entonces y suponiendo que la densidad de agua es $1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$$\dot{m}_c = 20 \left[\frac{L}{min} \right] \left(\frac{1[min]}{60[s]} \right) \left(\frac{1[m^3]}{1000[L]} \right) \left(1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \right)$$

Por lo tanto:

$$\dot{m}_c = 0.333 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Sustituyendo flujo másico, calor específico y temperaturas en la ecuación 10, queda de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = \left(0.333 \left[\frac{kg}{s} \right] \right) \left(4.18 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right] \right) (29[^{\circ}C] - 24[^{\circ}C])$$

Por lo tanto el resultado del flujo de calor es:

$$\dot{Q} = 6.96 [kW]$$

Cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor.

Utilizando la ecuación 13 y los datos obtenidos anteriormente, se obtendrá U .

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * T_m} \quad (\text{ecuación 13})$$

Donde:

$$T_m = 14.247[^{\circ}C]$$

$$A_m = 0.452[m^2]$$

$$\dot{Q} = 6.96[kW]$$

Sustituyendo los datos en la ecuación.

$$U = \frac{6.96[kW]}{0.452[m^2] * 14.247[^{\circ}C]}$$

$$U = \frac{6.96 \text{ [kW]}}{6.44 \text{ [m}^2\text{°C]}}$$

$$U = 1.081 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{°C}} \right]$$

Por lo tanto el Coeficiente Global de Transferencia de Calor queda de la siguiente manera:

$$U = 1.081 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{°C}} \right]$$

5.1.6 Prueba 6: Intercambio de calor en contra flujo: agua caliente / agua de enfriamiento.

La prueba 6, es una prueba real, a diferencia de la prueba anterior esta se realizó con el método de contra flujo en el cual se usan los mismos fluidos que la prueba 5. En la tabla 18 se observan los datos en los que se emplearon los fluidos, y se puede notar que algunos datos son similares a la prueba anterior especialmente el flujo de los fluidos, y en la tabla 19 las temperaturas que arrojó la toma de lectura, por consiguiente se realizará el análisis para conocer el valor de coeficiente de transferencia de calor.

Tabla 18. Datos de la prueba 6. (Elaboración propia)

DATOS	CANTIDAD	UNIDAD
Temperatura inicial del fluido de Calentamiento	34	°C
Temperatura final del fluido de calentamiento	58	°C
Flujo del fluido de calentamiento	20	L/h
Temperatura inicial del fluido de enfriamiento	23	°C
Temperatura final del fluido de enfriamiento	30	°C
Flujo del fluido de enfriamiento	20	L/h
Diámetro exterior del tubo de transferencia	19.05	mm
Diámetro interno del tubo transferencia	16.612	mm
Longitud de contacto del tubo de enfriamiento	1	m
Número de tubos	8	-
Cp de enfriamiento	4.18	kJ/kg°C
Densidad del fluido de enfriamiento	1000	kg/m ³

Tabla 19. Lectura de temperaturas de la prueba 6. (Elaboración propia)

Lecturas de temperatura Agua Caliente		Lecturas de temperatura Agua Fría	
#	Lectura (°C)	#	Lectura (°C)
1	58	10	30
2	58	11	29
3	58	12	27
4	53	13	26
5	47	14	24
6	43	15	25
7	39	16	23
8	36	17	23
9	34	18	23

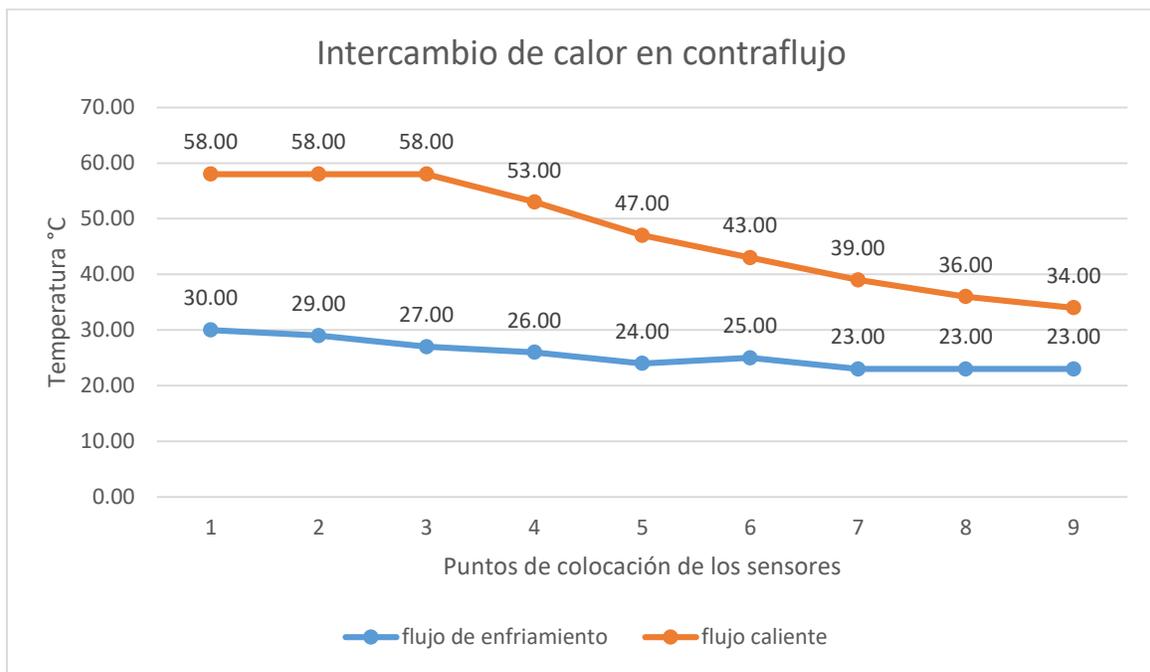


Figura 28. Gráfica 6, Intercambio de calor en contraflujo. (Elaboración propia)

Análisis térmico en flujo paralelo.**Cálculo de Diferencia de temperatura media logarítmica.**

Empleando la ecuación 5 y los datos de la tabla 19, como se muestra a continuación.

$$T_m = \frac{(T_{i_h} - T_{i_c}) - (T_{f_h} - T_{f_c})}{\text{Ln} \left(\frac{(T_{i_h} - T_{i_c})}{(T_{f_h} - T_{f_c})} \right)} \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$T_{i_h} = 34[^\circ\text{C}]$$

$$T_{i_c} = 23[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_h} = 58[^\circ\text{C}]$$

$$T_{f_c} = 30[^\circ\text{C}]$$

Sustituyendo datos de temperatura en la ecuación 5, tendremos la siguiente ecuación a resolver:

$$T_m = \frac{(34[^\circ\text{C}] - 23[^\circ\text{C}]) - (58[^\circ\text{C}] - 30[^\circ\text{C}])}{\text{Ln} \left(\frac{34[^\circ\text{C}] - 23[^\circ\text{C}]}{58[^\circ\text{C}] - 30[^\circ\text{C}]} \right)}$$

$$T_m = \frac{(11 [^\circ\text{C}]) - (28[^\circ\text{C}])}{\text{Ln} \left(\frac{11[^\circ\text{C}]}{28 [^\circ\text{C}]} \right)}$$

$$T_m = \frac{-17[^\circ\text{C}]}{\text{Ln}(0.393)}$$

$$T_m = \frac{-17 [^\circ\text{C}]}{-0.934}$$

Por lo tanto el resultado de DTML es:

$$T_m = 18.201[^\circ\text{C}]$$

Cálculo del Área Media Logarítmica de superficie donde se efectúa el intercambio de calor.

El cálculo de la superficie de contacto se realiza con la ecuación 6, este dato puede variar si la prueba se realiza en cuatro u ocho pasos.

$$A_m = d_m * l * n * \pi \quad (\text{ecuación 6})$$

En este caso la prueba se realiza a ocho pasos como en la anterior, esto quiere decir que el valor del área ya es un dato conocido.

Por lo tanto el resultado de la superficie de contacto media logarítmica es:

$$A_m = 0.452[m^2]$$

Cálculo de flujo de energía.

Para este cálculo se utilizará la ecuación 10 y los datos de la prueba ya conocidos.

$$\dot{Q} = \dot{m}_c * C_p * (T_{f_c} - T_{i_c}) \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$$\dot{m}_c = \text{Flujo másico de enfriamiento} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$C_p = 4.18 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right]$$

$$T_{f_c} = 30[^\circ C]$$

$$T_{i_c} = 23[^\circ C]$$

El flujo másico no se tiene directamente en la tabla 18 de datos, así que, se debe calcular con base en el flujo volumétrico.

Si

$$\dot{V}_c = 20 [L/min]$$

Este dato ya se calculó anteriormente en la prueba 5. Por lo tanto se sabe el valor del flujo másico.

$$\dot{m}_c = 0.333 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Sustituyendo el dato obtenido, calor específico y temperaturas en la ecuación 10.

$$\dot{Q} = \left(0.333 \left[\frac{kg}{s} \right] \right) \left(4.18 \left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right] \right) * (30[^\circ C] - 23[^\circ C])$$

Por lo tanto el resultado del flujo de calor es:

$$\dot{Q} = 9.744 [kW]$$

Cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor.

Utilizando la ecuación 13 y los datos obtenidos anteriormente, se obtendrá U .

$$U = \frac{\dot{Q}}{A_m * T_m} \quad (\text{ecuación 13})$$

Donde:

$$T_m = 18.201[^\circ\text{C}]$$

$$A_m = 0.452[\text{m}^2]$$

$$\dot{Q} = 9.744[\text{kW}]$$

Sustituyendo los datos en la ecuación.

$$U = \frac{9.744[\text{kW}]}{0.452[\text{m}^2] * 18.201[^\circ\text{C}]}$$

$$U = \frac{9.744[\text{kW}]}{8.227 [\text{m}^2\text{^\circ C}]}$$

$$U = 1.184 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{^\circ C}} \right]$$

Por lo tanto:

$$U = 1.184 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{^\circ C}} \right]$$

En las prácticas anteriores se vieron tres pares de pruebas, cada par tenía una prueba en flujo paralelo y en contraflujo, utilizando los mismos fluidos y flujo.

El resultado de cada una de las pruebas anteriores es diferentes por las condiciones que se tenía sometido al fluido, además de que, en un par de pruebas, ya conocidas del *Manual y prácticas ICW*, donde se utilizó aire en vez de agua de la red como fluido de enfriamiento.

Tabla 20. Resultados de las pruebas. (Elaboración propia)

	# de prueba	Método	Resultado
Primer par de prueba	Prueba 1	Flujo paralelo	$U_1 = 1.605 \left[\frac{kW}{m^2\text{°C}} \right]$
	Prueba 2	Contraflujo	$U_2 = 1.661 \left[\frac{kW}{m^2\text{°C}} \right]$
Segundo par de pruebas	Prueba 3	Flujo paralelo	$U_3 = 7.514 \times 10^{-3} \left[\frac{kW}{m^2\text{°C}} \right]$
	Prueba 4	Contraflujo	$U_4 = 12.842 \times 10^{-3} \left[\frac{kW}{m^2\text{°C}} \right]$
Tercer par de pruebas	Prueba 5	Flujo paralelo	$U_5 = 1.081 \left[\frac{kW}{m^2\text{°C}} \right]$
	Prueba 6	Contraflujo	$U_6 = 1.184 \left[\frac{kW}{m^2\text{°C}} \right]$

Se detectó que si se compara el resultado por pares, el de mayor valor es el que está dentro del método de contraflujo, ya que, ambas pruebas fueron sometidas a las mismas condiciones de operación.

Se puede llegar a la conclusión que si se requiere mayor transferencia de calor el método de contraflujo es el más eficaz.

5.2 Demostración del funcionamiento con adquisición de datos

La integración de un sistema DAQ al equipo ICW, favorecerá la obtención de los datos, su rapidez y fiabilidad, para las pruebas a realizar.

Como se vio en el capítulo 1, en el tema de adquisición de datos, el sensor que se utiliza es el cable termopar del fenómeno físico que se presenta (diferencia de temperatura), el cable de cada una de las temperaturas estarán conectados a las borneras del dispositivo o hardware DAQ, el dispositivo DAQ que se utiliza es un convertidor analógico digital, que convierte la señal analógica de los sensores a señales digitales.

El software de aplicación que está instalado en la PC el cual adquiere datos del dispositivo DAQ presentará datos de temperatura.

El software que se usó para la instrumentación virtual fue labVIEW⁵. “Este programa es una herramienta de programación gráfica, está orientado para aplicaciones de control de equipos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación lo que se conoce como instrumentación virtual” (Lajara & Pelegrí, 2011)

A continuación se mencionará las instrucciones para el uso del sistema DAQ

Instrucciones para el uso del instrumento virtual

1. Los termopares están conectados a la bornera de la tarjeta de adquisición de datos, Teniendo en cuenta la terminal positiva (color blanco) y la terminal negativa (color rojo).

Los termopares se encuentran en orden ascendente del 1 al 18, esto quiere decir que el termopar #1 se conectará en la TC 0, el #2 en la TC 1 y así consecutivamente, como se muestra en la figura 39.

Los termopares siempre estarán conectados al slot o bornera de la DAQ, para evitar que se desconecten y se desgasten por el uso, por lo tanto, cada vez que se llegue a ocupar solo se conectarán los slots a su DAQ correspondiente. Estos slots estarán a un costado del equipo ICW dentro de un tablero.

⁵ National Instruments, empresa desarrolladora y propietaria de LabVIEW. (Lajara & Pelegrí, 2011)



Figura 29. Bornera de la DAQ. (Elaboración propia)

2. Conectar la alimentación de 127 VAC al rack de National instruments y conectar el cable USB a la computadora.
3. En la computadora se abrirá el archivo del instrumento virtual, una vez abierto el instrumento virtual encontraremos el *diagrama de bloques*, sin embargo, lo que buscamos es el *panel frontal*, por consecuente necesitamos presionar las teclas Ctrl + E al mismo tiempo, una vez hecho esto nos cambiará al panel frontal.

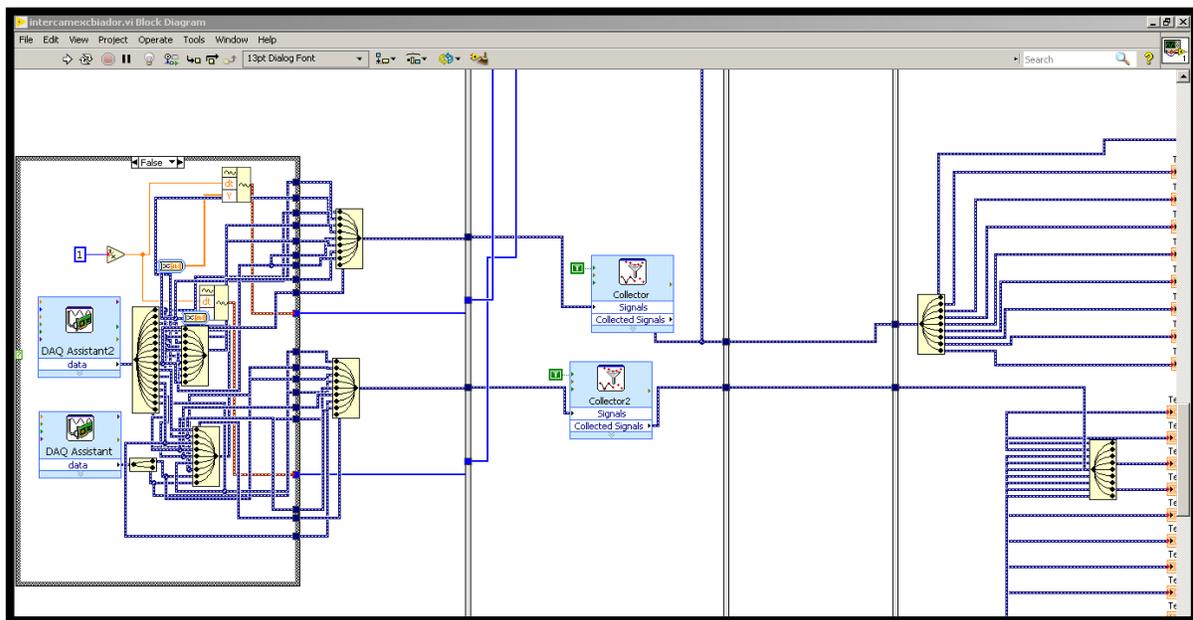


Figura 30. Diagrama de bloques. (Lugo Figueroa, 2020)

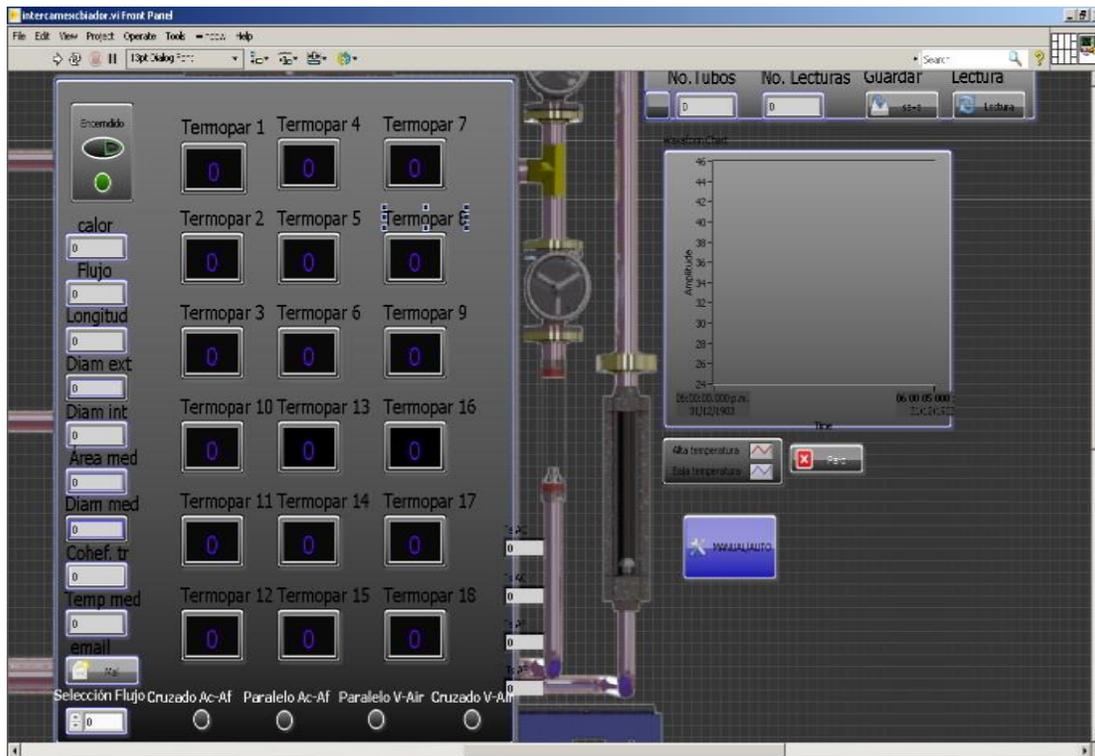


Figura 31. Panel frontal. (Lugo Figueroa, 2020)

4. Presionar el *botón de encendido* que se encuentra en la parte superior izquierda



Figura 32. Botón de encendido. (Lugo Figueroa, 2020)

5. Seleccionar el *número de tubos* con el que se va a trabajar, esto se logra presionando el botón, si está activo son 4 tubos, sino es de 8



Figura 33. Selección del número de pasos. (Lugo Figueroa, 2020)

6. Seleccionar la *combinación de fluidos* con la que se va a trabajar, esto se logra seleccionando un número.



Figura 34. Selección de combinación de fluidos. (Lugo Figueroa, 2020)

7. Para tomar las lecturas de temperatura es necesario presionar el botón de *Lectura*.



Figura 35. Botón de Lectura. (Lugo Figueroa, 2020)

8. Una vez mostradas las lecturas en el panel frontal e ingresado los datos del fluido, presionamos el botón de *guardar* para guardar el archivo con la gráfica, las temperaturas de la prueba de laboratorio.



Figura 36. Botón de Guardar. (Lugo Figueroa, 2020)

9. Si presionamos el botón *e-mail* el reporte guardado se enviará a una lista de contactos que se haya guardado previamente en una hoja de Excel la cual se encontrará en una carpeta con el instrumento virtual

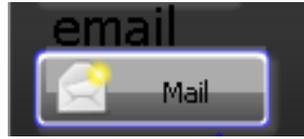


Figura 37. Botón de e-mail. (Lugo Figueroa, 2020)

10. En caso de no estar en el laboratorio, podemos hacer pruebas virtuales presionando el botón azul de *manual/auto* con el cual se pueden modificar los valores de los termopares de manera manual sin necesidad de estar en contacto con la máquina



Figura 38. Botón de manual/auto. (Lugo Figueroa, 2020)

Nota:

En la siguiente figura ilustrativa, se muestra un termopar colocado en la bornera con su respectiva ubicación y color.

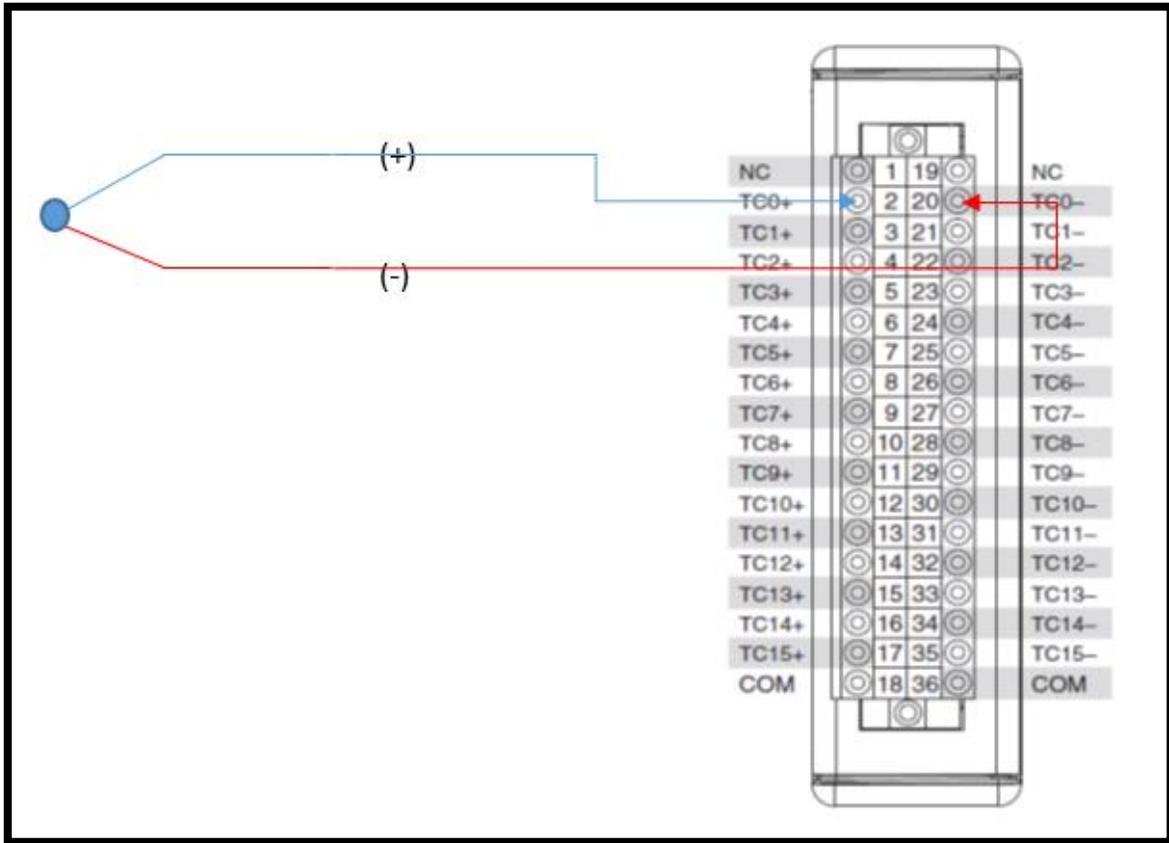


Figura 39. Termopares y bornera. (Lugo Figueroa, 2020)

En la realización de la práctica se puede ingresar datos de los fluidos del cual se está trabajando, así, tener el resultado del coeficiente de transferencia de calor como se puede ver en la siguiente figura, y cuando se realice la práctica sin la adquisición de datos se llegue a comparar los resultados y llegar a una conclusión.



Figura 40. Panel frontal ejecutando una prueba. (Elaboración propia)

Conclusión

Como consecuencia de lo expuesto en este trabajo de tesis, la rehabilitación y mejora del equipo de transferencia de calor marca Wards Steam, se aprovechará para las nuevas generaciones de estudiantes de la licenciatura en Ingeniería Mecánica, para su formación en la asignatura de Transferencia de Calor, especialmente en este equipo podrá ejecutar cálculos de convección y conocer los tipos de métodos más comunes en los cambiadores de calor; que son contraflujo y flujo paralelo.

A pesar de la pandemia que originó el virus nombrado coronavirus COVID-19, el equipo de transferencia de calor se recuperó casi por completo. Como se vio en el capítulo III de este documento, las actividades que se realizaron para la rehabilitación del equipo de transferencia de calor se resumirán a continuación:

- Reparación de la motobomba.
- Reparación del tanque elevado.
- Reparación de secciones de tubería que se encontraban en mal estado; se tuvo que cambiar algunos accesorios como codos, tes y válvulas que ocasionaban fugas.
- Complementación de fusibles que hacían falta en los arrancadores del equipo.

Quedo pendiente la adaptación de un rotámetro para medir el flujo de aire que ingresa en el cambiador de calor y darle mantenimiento al tanque de condensados.

Las mejoras que se realizaron al equipo se llevaron especialmente en el tanque de calentamiento y la adaptación de un sistema de adquisición de datos. Las mejoras realizadas fueron:

- La instalación de un sistema de rieles, en el cual, el tanque de calentamiento podrá deslizarse.
- En el tanque de calentamiento:
 - o Adaptación de un par de rieles con esferas metálicas, para poderlo maniobrar en caso necesario y darle mantenimiento, algo que antes no era posible llegar a realizar, debido a que, se encontraba anclado en la estructura.
 - o Y la adaptación de un sistema de desagüe para extraer el agua que quede en el tanque al finalizar la práctica.
- El montaje del sistema de adquisición de datos fue algo novedoso en el equipo, debido a que, se obtienen datos en tiempo real de todas las tomas de temperaturas, así, se podrá comparar y corroborar de forma analógica y digital las temperaturas. Además de la obtención de los gráficos que forman las temperaturas, por los diferentes métodos que proporciona el equipo. Y con ingresar los datos correspondientes, los cuales son datos de flujo

volumétrico, densidad, y área media logarítmica, se puede obtener el coeficiente global de transferencia de calor, que es uno de los objetivos de la realización de la práctica.

- Además de una estructura soldada al equipo para mayor estabilidad y seguridad del estudiante y académicos que lo esté ocupando.

Con la rehabilitación y mejora del equipo se comenzaron hacer pruebas piloto para conocer las fallas, los imprevistos que se detectaron fueron algunas fugas, que fueron reparadas. En el capítulo V se pueden observar algunas pruebas realizadas en el equipo, pero por causa de la pandemia, no se llegó hacer más pruebas, ya que, la entrada a la facultad se encontraba restringida. Incluso no se llegó hacer pruebas con vapor, debido a que, el Generador de Vapor sufrió una avería y se encontraba en mantenimiento.

Con la actualización del equipo se tuvo que modificar el manual de prácticas. Se propone un documento que ayudara a llevar a cabo las pruebas de manera didacta (Anexo C). En el siguiente link se puede obtener la práctica completa:

<https://drive.google.com/drive/folders/18fOi0JxgsxneoDLYQZWS0IUchc2RFen?usp=sharing>

Finalmente el equipo intercambiador de calor marca Wards Steam queda abierto a futuras mejoras que puedan ayudar a la formación del Ingeniero Mecánico.

Anexo A



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Anexo A. Bomba antes del mantenimiento. La bomba se encontraba averiada, se prosigió a desmantelarla para conocer el problema. (a) y (b) desmantelación de bomba. (c) sello y empaque de la bomba. (Elaboración propia)



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2. Anexo A. Tanque de calentamiento. (a) tanque de calentamiento antes del mantenimiento. (b) extracción del aislante del tanque y comprobación del anclamiento del tanque al equipo. (c) y (d) ubicación de la fuga del tanque por corrosión. (Elaboración propia)



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Anexo A. Válvulas. (a) juego de válvulas que hacen el cambio de método de prueba con incrustación. (b) válvula reguladora de vapor desmontada por fuga (c) válvula con presente fuga de agua. (Elaboración propia)



(a)



(b)



(c)

Figura 4. Anexo A. Tanque elevado. Las figuras siguientes muestran las condiciones encontradas del tanque elevado (a) tanque elevado con tubería de alimentación de agua. (b) interior del tanque que muestra el flotador y rebosadero. (c) interior del tanque que muestran la válvula del flotador. (Elaboración propia)



(a)



(b)

Figura 5. Anexo A. Cable de suministro y fusible de un arrancador. (a) muestra los cables quemados en la clavija. (b) arrancador con "diablitos". (Elaboración propia)

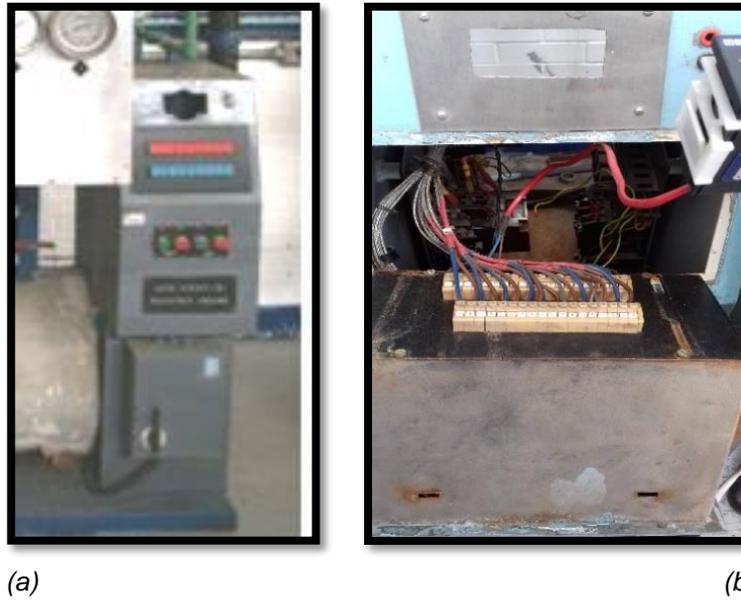


Figura 6. Anexo A. Tablero de medición digital de temperatura. (a) se muestra el hueco del medidor digital de temperatura y la caja de cuchillas en la parte inferior (b) muestra cada uno de los termopares conectados para la medición digital, además que se observan los bancos de fusibles en el interior. (Elaboración propia)



Figura 7. Anexo A. Tablero de cuchillas. (a) y (b) se muestran las cuchillas sucias y oxidadas. (Elaboración propia)



Figura 8. Anexo A, Termómetros bimetálicos de carátula. (Elaboración propia)

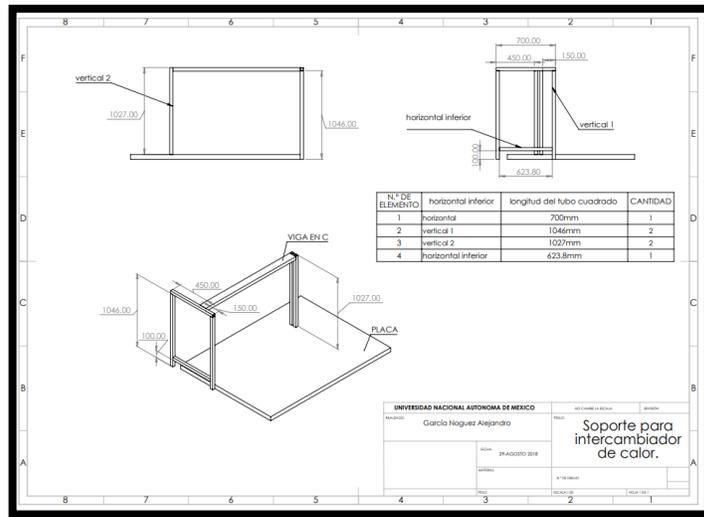


Figura 9. Anexo A. Sin medidor de flujo de aire. (Elaboración propia)

Anexo B



(a)



(b)

Figura 1. Anexo B. Instalación de soportes al equipo. (a) estructura tubular soldada al equipo ICW. (b) plano donde se muestra cómo quedará el equipo con los soportes. (Elaboración propia)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 2. Anexo B. Reparación del tanque de calentamiento. (a) eliminación del sistema de desagüe. (b) manipulación del tanque de calentamiento con ayuda de la grúa del laboratorio para su limpieza interior. (c) sellado por soldadura del hueco que dejó la eliminación del sistema desagüe para evitar fuga de agua. (d) sustracción de las incrustaciones, basura y suciedad del tanque. (e) preparación del tanque para la adaptación de la base que correrá por los rieles. (f) colocación del nuevo sistema para la extracción del agua al finalizar la práctica. (g) colocación del tanque ya actualizado en su lugar original. (Elaboración propia)



Figura 3. Anexo B. Rieles para la manipulación del tanque de calentamiento. (Elaboración propia)



(a)

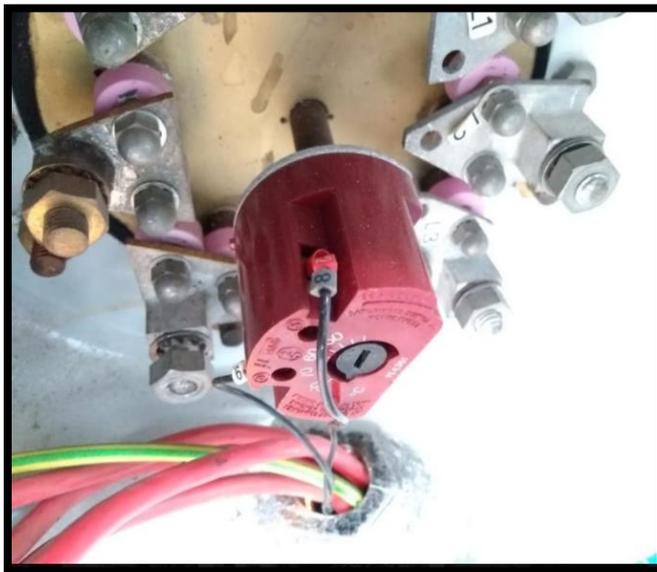


(b)



(c)

Figura 4. Anexo B. Bomba para flujo de agua caliente. (a) y (b) prueba del funcionamiento de la bomba. (Elaboración propia)



(a)



(b)

Figura 5. Anexo B. Resistencias eléctricas de calentamiento. (a) termostato de las resistencias eléctricas. (b) resistencias eléctricas en buen estado con un poco de suciedad. (Elaboración propia)



(a)

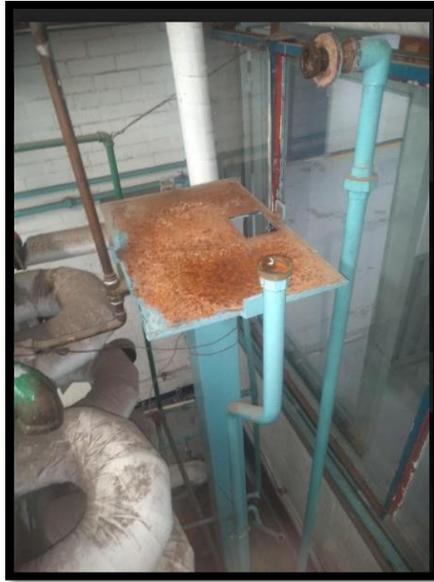


(b)

Figura 6. Anexo B. Reparación de tubería. (a) reparación de la válvula de alimentación de agua de la red. (b) reparación de la tubería de cobre donde circula agua de red. (Elaboración propia)



Figura 7. Anexo B. Revisión de la instalación eléctrica. Eliminación del “diablitos” por fusibles en los arrancadores. (Elaboración propia)

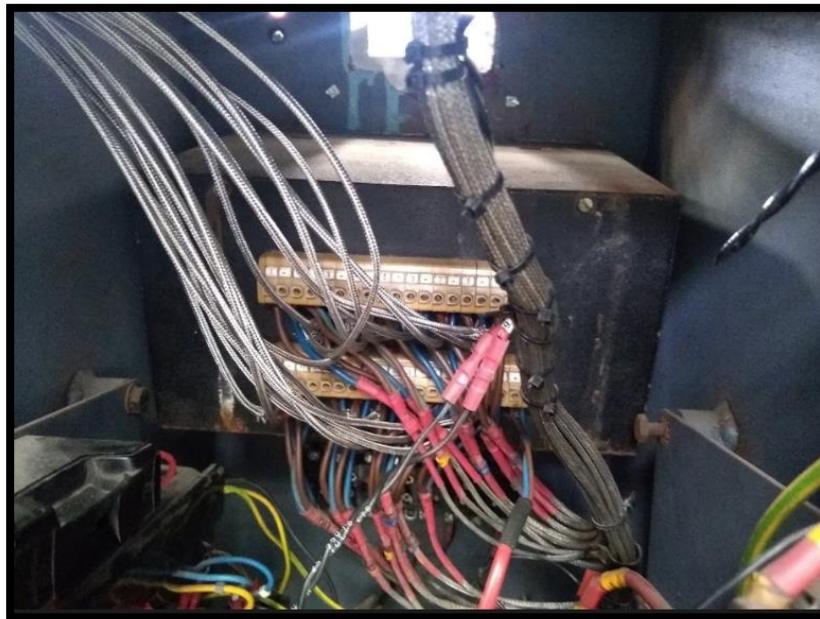


(a)



(b)

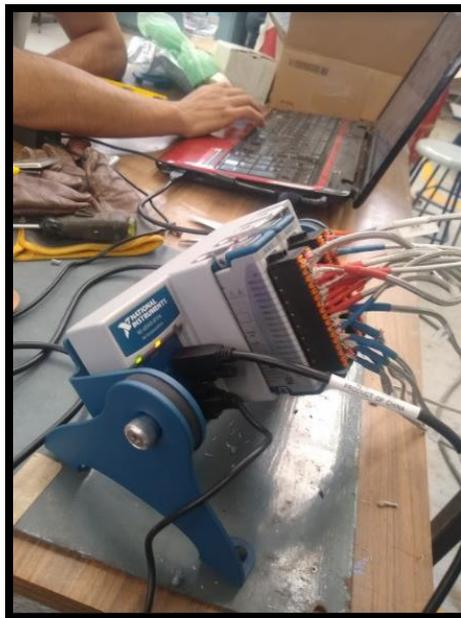
Figura 8. Anexo B. Recuperación del tanque elevado de alimentación. (a) extracción del tanque para su mantenimiento. (b) instalación del tanque después del mantenimiento. (Elaboración propia)



(a)



(b)



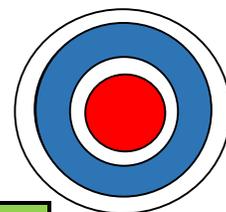
(c)

Figura 9. Anexo B. Instalación del Sistema de Adquisición de Datos. (a) Instalación de cables tipo j para la toma de lecturas de temperatura en las DAQs, de la bornera de toma digital. (b) y (c) se muestra cada cable que posee su respectivo número de termopar y color, en la bornera de la DAQ. (Elaboración propia)

Anexo C

Práctica (fragmento)

Fecha: _____ Grupo: _____ Equipo: _____



Flujo paralelo					
Sustancias a emplear		Selección de fluido (x)	Unidades	Símbolo	Valor del cauda
Calentamiento	Vapor		lt/hr	M_H	
	Agua		lt/hr		
Enfriamiento	Aire		m^3/hr	M_C	
	Agua		lt/hr		

Nota: marcar con una x el fluido que se emplea

Temperatura de fluido de calentamiento						
# de termopar	Símbolo	Unidad	Prueba 1, valor	Prueba 2, valor	Prueba 3, valor	Media
1	T_{i_H}	°C				
2	T_H	°C				
3	T_H	°C				
4	T_H	°C				
5	T_H	°C				
6	T_H	°C				
7	T_H	°C				
8	T_H	°C				
9	T_{f_H}	°C				
Temperatura de fluido de enfriamiento						
# de termopar	Símbolo	Unidad	Prueba 1, valor	Prueba 2, valor	Prueba 3, valor	Media
10	T_{i_C}	°C				
11	T_C	°C				
12	T_C	°C				
13	T_C	°C				
14	T_C	°C				
15	T_C	°C				
16	T_C	°C				
17	T_C	°C				
18	T_{f_C}	°C				

Fecha: _____ Grupo: _____ Equipo: _____

Contraflujo					
Sustancias a emplear		Selección de fluido (x)	Unidades	Símbolo	Valor del caudal
Calentamiento	Vapor		lt/hr	M_H	
	Agua		lt/hr		
Enfriamiento	Aire		m^3/hr	M_C	
	Agua		lt/hr		

Nota: marcar con una x el fluido que se emplea

Temperatura de fluido de calentamiento						
# de termopar	Símbolo	Unidad	Prueba 1, valor	Prueba 2, valor	Prueba 3, valor	Media
1	T_{fH}	°C				
2	T_H	°C				
3	T_H	°C				
4	T_H	°C				
5	T_H	°C				
6	T_H	°C				
7	T_H	°C				
8	T_H	°C				
9	T_{iH}	°C				

Temperatura de fluido de enfriamiento						
# de termopar	Símbolo	Unidad	Prueba 1, valor	Prueba 2, valor	Prueba 3, valor	Media
10	T_{fC}	°C				
11	T_C	°C				
12	T_C	°C				
13	T_C	°C				
14	T_C	°C				
15	T_C	°C				
16	T_C	°C				
17	T_C	°C				
18	T_{iC}	°C				

Tabla de resultados

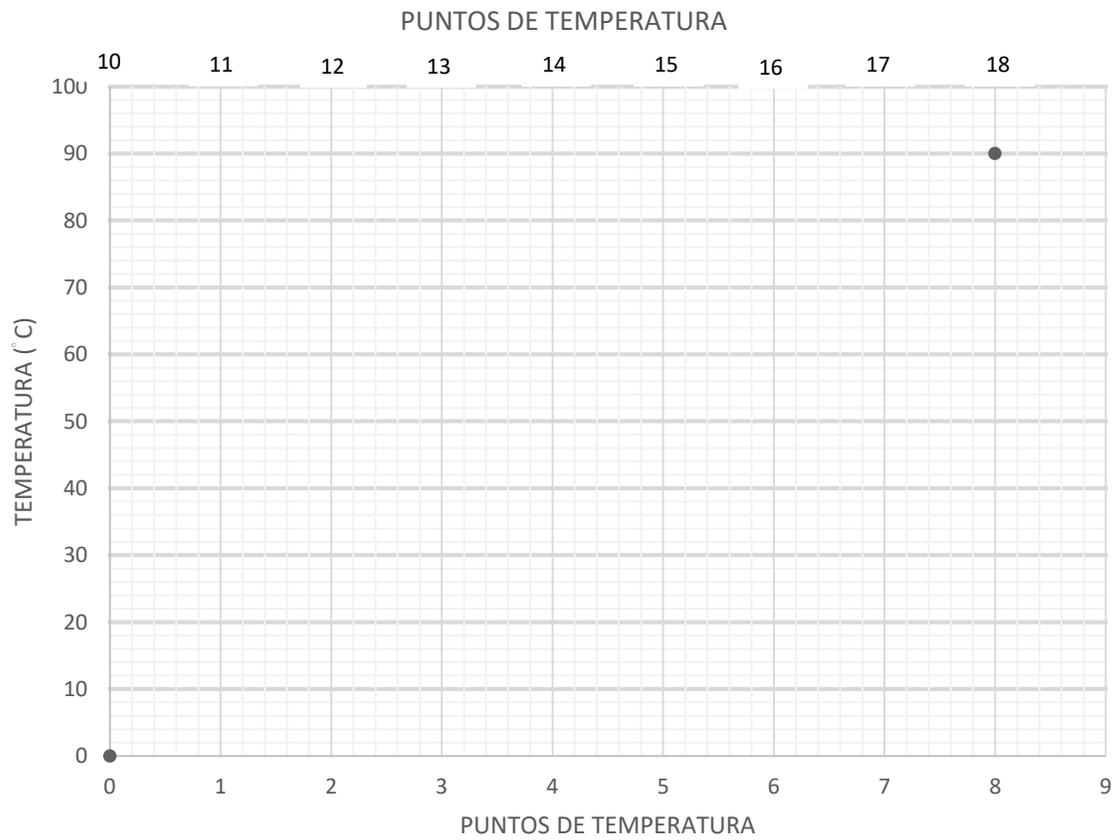
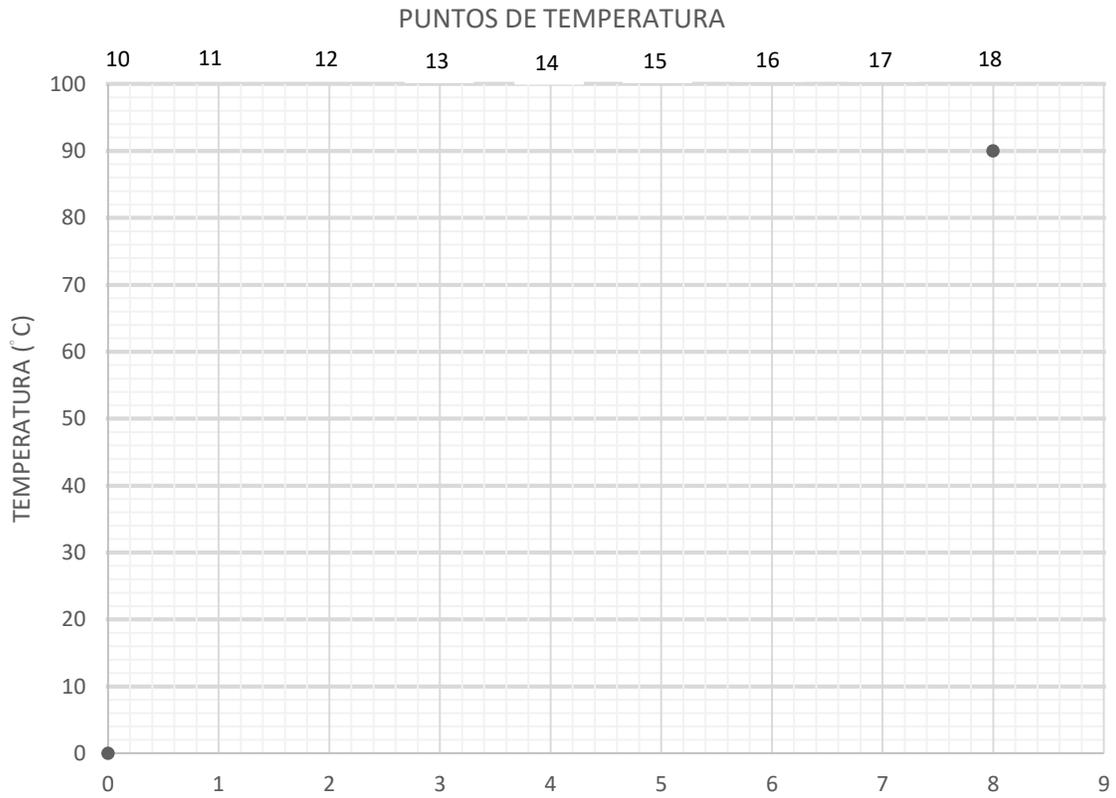
Fecha: _____ Grupo: _____ Equipo: _____

PROFESOR: _____

TÉCNICO: _____

Fluido de calentamiento empleado : _____ Gasto: _____						
Fluido de enfriamiento empleado : _____ Gasto: _____						
Numero de pasos empleados 4 pasos <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> 8 pasos <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>						
Propiedades			Flujo paralelo		Contraflujo	
Concepto	Símbolo	Unidad	Valor analógico	Valor digital	Valor analógico	Valor digital
Temperatura media logarítmica	T_m	°C				
Área media de superficie	A_m	m^2				
Flujo de energía	Q	W				
Coeficiente global de transferencia	U	$\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$				

Gráficas para flujo paralelo y contraflujo.



Bibliografía

- Alfa de Occidente. (2020). *Historia de los intercambiadores de calor*. Obtenido de <https://alfadeoccidente.mx/seccion/?p=32>
- Blog FES Aragón UNAM Laboratorio Térmica y Fluidos L2. (2019). *Laboratorio de transferencia de calor*. Recuperado el 2020, de <https://termicayfluidosl2.blogspot.com/2019/10/transferencia-de-calor.html>
- Cussons Technology. (2020). *Transferencia de calor e intercambiador de calor*. Recuperado el 2019, de <https://cussons.co.uk/products/thermodynamics/heat-transfer-heat-exchanger.php>
- HIDROTEM. (2017). *Intercambiadores de calor*. Obtenido de <https://www.hidroterm.com.ve/documentacion/intercambiadoresdecalor.pdf>
- infra. (2020). *Electrodos*. Obtenido de <https://grupoinfra.com/>
- Lajara, J., & Pelegrí, J. (2011). *LabVIEW*. México: Alfaomega.
- Lugo Figueroa, P. (2020). Instrumentación virtual en intercambiador de calor (Tesis en proceso). México. Obtenido de <https://clubtermoenergial2.blogspot.com/>
- Manual y prácticas ICW. (2019). *Equipo de transferencia de calor*. Recuperado el agosto de 2020, de <https://drive.google.com/file/d/0B52Pg9wzV5YYUWgyNUZfeIRwWTg/view>
- National Instrumets. (2021). *Adquisición de datos (DAQ)*. Obtenido de [http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n17:daq/fmid/652/#:~:text=L a%20adquisici%C3%B3n%20de%20datos%20\(DAQ,una%20PC%20con%20software%20pro gramable](http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/es/pg/1/sn/n17:daq/fmid/652/#:~:text=L a%20adquisici%C3%B3n%20de%20datos%20(DAQ,una%20PC%20con%20software%20pro gramable).
- PA Hilton. (2020). *Transferencia de calor*. Recuperado el 2019, de <https://www.p-a-hilton.co.uk/products/heat-transfer?laws=All&year=All&page=0>
- Pita, E. (2004). *Principios y sistemas de refirgeracón*. México: Limusa.
- Práctica del Equipo de transferencia de calor Wards Steam*. (2020). Obtenido de <https://drive.google.com/drive/folders/18rfOi0JxgsxneoDLYQZWS0IUhc2RFen?usp=sharing>
- SOUTULLO, R. G. (s.f.). *Intercambiadores de calor*. Obtenido de https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/#4-Aplicaciones_de_los_Intercambiadores_de_Calor
- Tippens, P. (2011). *Física: Conceptos y aplicaciones* (septima ed.). México: Mc graw Hill.