

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE GUANAJUATO



DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN PROTOTIPO DE DINÁMICA DE FLUIDOS E INTERCAMBIO DE CALOR

Opción 2: Titulación Integral – Tesis Profesional

Elaborada por:

Daniel Paniagua López

Que presenta para obtener el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Asesor:

Ing. Alfredo Torres Martínez

Uriangato, Gto.

Mayo, 2023

“DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN PROTOTIPO DE DINAMICA DE FLUIDOS E INTERCAMBIO DE CALOR”

Elaborada por:

Daniel Paniagua López

Aprobado por.....

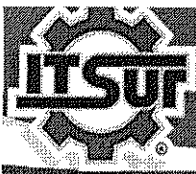
Ing. Alfredo Torres Martínez
Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental
Asesor de Tesis Profesional

Revisado por.....

Dr. Edgar Guadalupe Blanco Díaz
Jefe de División de Ingeniería Ambiental
Revisor de Tesis Profesional

Revisado por.....

M.C. Susana Ramírez Guízar
Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental
Revisor de Tesis Profesional



LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Uriangato, Gto., 28/Abril/2023

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral

M.C. José Gabriel Aguilera González
Director Académico
ITSUR
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre de estudiante y/o egresado(a): Daniel Paniagua López	
Carrera: Ing. Ambiental	Núm. de control: A17120286
Nombre del proyecto: Diseño y operación de un prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor	
Producto: Tesis Profesional	

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestras y nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Dr. Edgar Guadalupe Blanco Díaz
Jefe de División de Ingeniería Ambiental
ITSUR

La comisión revisora ha tenido a bien aprobar la reproducción de este trabajo.

Ing. Alfredo Torres Martínez	M.C. Susana Ramírez Guízar	Dr. Edgar Guadalupe Blanco Díaz



Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato
COORDINACIÓN
INGENIERÍA AMBIENTAL

c.c.p.- Expediente

Tabla de contenido

Capítulo 1	1
Introducción.....	1
Capítulo 2	2
Marco teórico (Antecedentes).....	2
2.1 Clasificación de los intercambiadores de calor.....	2
2.1.1 Tipos de intercambiadores de calor según la trayectoria que siguen los fluidos.....	3
2.1.1.1 Intercambiador de calor de flujo paralelo.....	3
2.1.1.2 Intercambiador de calor de contraflujo.....	3
2.1.1.3 Intercambiador de calor de flujo cruzado.....	4
2.1.2 Tipos de Intercambiadoras de calor según la forma en la que es transferido el calor de un fluido a otro.....	5
2.1.2.1 Regeneradores.....	5
2.1.2.2 Intercambiadores de calor de tipo cerrado.....	5
2.1.2.3 Intercambiadores de calor de tipo abierto.....	6
2.1.3 Tipos de Intercambiadores de calor según su aplicación.....	6
2.1.3.1 Calderas.....	6
2.1.3.2 Precalentador.....	6
2.1.3.3 Horno.....	7
2.1.3.4 Radiador.....	7
2.1.3.5 Condensadores.....	7
2.1.3.6 Aire acondicionado.....	7
2.1.4 Tipos de intercambiadores de calor según las características de construcción.....	8
2.1.4.1 Intercambiadores de calor tubulares o de tubo doble.....	8
2.1.4.2 Intercambiadores de calor de coraza y tubos.....	9
2.1.4.3 Intercambiador de calor de tubo en espiral.....	10
2.1.4.4 Intercambiador de calor de placas.....	11
2.1.4.4.1 Componentes de un intercambiador de calor de placas empacadas.....	12
2.2 Fundamentos de la transferencia de calor.....	13
2.2.1 Calor, temperatura y desequilibrio térmico.....	13

2.2.2	Transferencia de la energía.	13
2.2.2.1	Transferencia de energía por calor.	14
2.2.3	Primera ley de la termodinámica.....	14
2.2.3.1	Energía Interna y Entalpia.....	15
2.2.4	Balances de materia y energía en los Intercambiadores de calor.....	16
2.3	Medición del flujo volumétrico.....	16
2.3.1	Tipos de medidores de caudales.	17
2.3.1.1	Medidores de presión diferencial.....	17
2.3.1.2	Medidores de velocidad.	20
2.3.1.3	Medidores másicos.....	24
2.3.1.4	Medidores volumétricos.....	26
2.3.1.5	Medidores de área variable.....	27
2.4	Baño Termostático para laboratorio.	31
2.4.1	Tipos de baños termostáticos.....	31
Capítulo 3	33
	Planteamiento del problema.....	33
3.1.	Identificación.....	33
3.2.	Justificación.	33
3.3.	Alcance.	34
Capítulo 4	35
	Objetivos	35
4.1.	Objetivo general.	35
4.2.	Objetivos específicos.	35
Capítulo 5	36
	Metodología.....	36
5.1	Diseño del diagrama de flujo de proceso para el funcionamiento de la instalación del prototipo.	36
5.2	Construcción de un rotámetro que permita medir la velocidad del flujo en ambas entradas del ICP.	40
5.2.1	Calibración del rotámetro.....	42

5.3 Instalación y conexión completa del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor, así como de los instrumentos que permiten la medición de los flujos y temperaturas en las entradas y salidas del ICP.	43
5.4 Análisis del comportamiento del BT al calentar agua a 40 °C cuando se manipulan los flujos de 0.5, 1, 2 y 3 L/min.	45
5.5 Creación de un manual de operación y mantenimiento.....	46
Capítulo 6	47
Resultados.....	47
6.1 Representación ilustrativa de los componentes y conexiones del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.	47
6.2 Construcción de un rotámetro.	48
6.2.1 Calibración de un rotámetro funcional.....	48
6.2 Resultado de la instalación y conexión completa del prototipo.	50
6.4 Manual de operación y mantenimiento del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.	51
Capítulo 7	53
Análisis de Resultados.....	53
7.1 Calibración de los rotámetros.	53
7.2 Análisis de la capacidad del BT para operar flujos de 0.5, 1, 2 y 3 L/min a una temperatura de 40 °C.	55
Capítulo 8	62
Conclusiones y trabajo a futuro.....	62
Referencias bibliográficas	64
Anexos.....	69
Anexo I. Tiempos y caudales obtenidos durante las mediciones para la graduación del rotámetro 1.	69
Anexo II. Tiempos y caudales obtenidos durante las mediciones para la graduación del rotámetro 2.	70
Anexo III. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 3 L/min, primera repetición.	71
Anexo IV. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 3 L/min, segunda repetición.....	72
Anexo V. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 3 L/min, tercera repetición.....	73

Anexo VI. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 2 L/min, primera repetición.	74
Anexo VII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 2 L/min, segunda repetición.	75
Anexo VIII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 2 L/min, tercera repetición.	76
Anexo IX. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 1 L/min, primera repetición.	77
Anexo X. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 1 L/min, segunda repetición.	78
Anexo XI. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 1 L/min, tercera repetición.	79
Anexo XII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 0.5 L/min, primera repetición.	80
Anexo XIII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 0.5 L/min, segunda repetición.	81
Anexo XIV. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 0.5 L/min, tercera repetición.	82
Anexo XV. Código para el análisis de las temperaturas T1, T2 y T3 para ejecución con RStudio.	83
Anexo XVI. Manual de operación y mantenimiento del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.	84

Índice de Figuras.

Figura 1. Flujo paralelo en un intercambiador de calor (a) y grafico del comportamiento de las temperaturas (b)	3
Figura 2. Contraflujo en un intercambiador de calor (a) y grafico del comportamiento de las temperaturas (b)	4
Figura 3. Flujo cruzado en un intercambiador de calor (a) y grafico del comportamiento de las temperaturas (b)	5
Figura 4. intercambiador de calor tubular.....	9
Figura 5. Intercambiador de calor de coraza y tubos.	10
Figura 6. Componentes de un intercambiador de calor de placas empacadas [20].	12
Figura 7. Caudalímetro de placa orificio.....	18
Figura 8. Caudalímetro de tubo Venturi.....	19
Figura 9. Caudalímetro de tubo Pitot.....	20
Figura 10. Caudalímetro de turbina.	21
Figura 11. Caudalímetro electromagnético.	22
Figura 12. Caudalímetro vortex.....	23
Figura 13. Diagrama esquemático para un caudalímetro ultrasónico.....	24
Figura 14. Medidor de flujo Coriolis.....	25
Figura 15. Principio de funcionamiento del medidor de desplazamiento positivo [36].	27
Figura 16. Representación esquemática de un rotámetro.	28
Figura 18. Circulación del Flujo de agua caliente a través del ICP y del BT.....	38
Figura 19. Circulación de los flujos de agua, caliente y fría.	39
Figura 20. Diagrama de flujo de proceso de la instalación del prototipo.	40
Figura 21. Cuerpo general del rotámetro.....	41
Figura 22. varilla estabilizadora, mayas de acero y sujetador.	42
Figura 23. Armazón para salidas F1 y F3.....	44
Figura 24. Sección de la parte inferior del rotámetro.	45
Figura 25. Representación ilustrativa de los componentes y conexiones del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.....	47
Figura 26. Rotámetro.	48
Figura 27. Rotámetro graduado.	49
Figura 28. Prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.....	51

Figura 29. Tabla de contenido del manual de usuario.....	52
Figura 30. Ajuste Lineal para los caudales del rotámetro 1.	54
Figura 31. Ajuste lineal para los caudales del rotámetro 2.....	55
Figura 32. Variación de la temperatura dentro del baño termostático a través del tiempo a distintos flujos.....	56
Figura 33. Variación de la temperatura en la entrada del intercambiador de calor a través del tiempo a distintos flujos.....	57
Figura 34. Variación de las temperaturas a la salida del intercambiador de calor a distintos flujos a través del tiempo.	58
Figura 35. Temperatura del interior del baño termostático a distintos flujos.....	59
Figura 36. Mediciones de temperaturas (T1, T2 y T3) a flujo constante para a) 0.5 L/min, b) 1 L/min, c) 2 L/min y d) 3 L/min a través del tiempo con un BT programado a 40 °C.	60

Índice de Tablas.

Tabla 1. Características principales de los diferentes tipos de baño maría para laboratorio [43].	32
Tabla 2. Caudales obtenidos por cada altura del flotador para el rotámetro 1.	50
Tabla 3. Caudales obtenidos por cada altura del flotador para el rotámetro 2.....	50

Título de la tesis:

Diseño y operación de un prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor

Resumen:

Los intercambiadores de calor son equipos utilizados para transferir calor de un fluido a otro, sin que estos se mezclen entre sí. A nivel industrial, principalmente en la industria alimenticia y metalúrgica, los intercambiadores de calor son comúnmente utilizados en los procesos que involucran refrigeración. Por otro lado, un baño termostático es un equipo que comúnmente es utilizado en los laboratorios químicos y consiste en un depósito lleno de un líquido que puede calentarse a una determinada temperatura. En el presente proyecto se instaló un intercambiador de calor de placas que opera en conjunto con termómetros; un baño termostático con recirculación de agua, los cuales fungen para la circulación de los flujos a través del equipo, y; rotámetros que se crearon a partir de materiales de reusó. Para lo cual, se realizó un diagrama de instalación y conexión entre los equipos antes mencionados. Además, se realizaron pruebas para determinar las condiciones de operación del prototipo operando con agua 40 °C, en dichas pruebas se logró observar que las condiciones en las que el equipo puede operar son a flujos de entre 1 y 2 L/min.

Palabras claves.

Intercambiador de calor, baño termostático, flujómetro, rotámetro, flujo, calor.

Abstract:

Heat exchangers are equipment used to transfer heat from one fluid to another, without mixing them together. At the industrial level, mainly in the food and metallurgical industries, heat exchangers are commonly used in processes involving refrigeration. A thermostatic bath is an equipment commonly used in chemical laboratories that consists of a tank filled with a liquid that can be heated to a certain

temperature. In the present project, a plate heat exchanger was installed that operates in conjunction with thermometers; a thermostatic bath with water recirculation, which serves for the circulation of flows through the equipment; and rotameters that were created from reused materials. A diagram was created to illustrate the installation and connection of the mentioned equipment. Tests were conducted to determine the operating conditions of the prototype using 40 °C water. It was observed that the equipment can operate under flow rates between 1 and 2 L/min.

Keywords.

Heat exchanger, thermostatic bath, flowmeter, rotameter, flow, heat.

Capítulo 1

Introducción.

En los sistemas químicos, nucleares y otros, ocurre que el calor debe de ser transferido de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro [1]. Un **Intercambiador de Calor (IC)** es un equipo que facilita el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí. Por otro lado, el **Baño Termostático (BT)** es utilizado para mantener la temperatura constante en diferentes sistemas, posibilitando que haya un control preciso de la temperatura, siendo muy utilizado en varios sectores de la industria, laboratorios y universidades, pues la circulación del agua es realizada en circuito cerrado, evitando desperdicios.

El objetivo de este proyecto es poner en funcionamiento un **Intercambiador de Calor de Placas (ICP)**, en conjunto con un BT. Para ello, se deben realizar conexiones entre ambos equipos; dichas conexiones deben de contar con flujómetros o caudalímetros, los cuales son dispositivos que permiten medir la velocidad en la que fluye un fluido en una tubería, y con dispositivos que permitan medir las temperaturas en las entradas y salidas del ICP. Dicho lo anterior, el presente proyecto contempla: el diseño de un diagrama de flujo de proceso que funja como guía para las instalaciones de ambos equipos; la elaboración y calibración de dos medidores de flujo (rotámetros) en ambas entradas del ICP; la conexión del intercambiador de calor y el baño termostático, así como la adaptación de sondas para la medición de temperaturas en las cuatro entradas del intercambiador; la operación del equipo; el análisis de su operación y; la creación de un manual para la correcta operación del prototipo.

Capítulo 2

Marco teórico (Antecedentes).

Los principios derivados de la termodinámica y otras ciencias de la ingeniería, tales como la mecánica de fluidos o la transferencia de masa y calor, son utilizados por los ingenieros para diseñar y crear dispositivos destinados a satisfacer las necesidades humanas [2]. Tal es el caso de los Intercambiadores de Calor (IC), los cuales, como ya se mencionó, son dispositivos que permiten la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido.

Un equipo de intercambio de calor es el que transfiere energía térmica (es decir, energía y entropía) desde una fuente o un fluido a alta temperatura hacia un fluido a baja temperatura con ambos fluidos moviéndose a través del aparato, sin mezclarse [3]. De este concepto se puede destacar que un intercambiador de calor se utiliza por cuatro principales razones: cuando se requiere calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura; a su vez, cuando se necesite reducir la temperatura de un fluido por medio de otro fluido con menor temperatura; cuando sea necesario llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura y; cuando se quiera condensar un fluido por medio de otro fluido con menor temperatura [1].

2.1 Clasificación de los intercambiadores de calor.

En este tipo de aparatos se pueden diferenciar una gran variedad de equipos existentes, pero lo más común es clasificarlos de acuerdo a los siguientes criterios: según la trayectoria que siguen los fluidos; la forma en la que el calor es transferido de un fluido a otro; por su aplicación; sus características de construcción y; en relación a el número de fluidos involucrados.

2.1.1 Tipos de intercambiadores de calor según la trayectoria que siguen los fluidos.

Por la dirección en la que se cruzan los flujos al interior, los intercambiadores de calor se pueden ser de: flujo paralelo, contraflujo y flujo cruzado.

2.1.1.1 Intercambiador de calor de flujo paralelo.

Sucede cuando ambos fluidos entran por el mismo extremo del intercambiador de calor y salen por el extremo opuesto (Figura. 1 a). De este modo, el fluido caliente cede el calor al fluido frío de manera desigual [4] y, como es de suponerse, en la entrada de ambos la transferencia es máxima pero conforme van avanzando ambos fluidos a través del equipo la transferencia va disminuyendo y la temperatura del fluido frío aumenta sin superar la temperatura del fluido caliente como se observa en la gráfica de la Figura 1b.

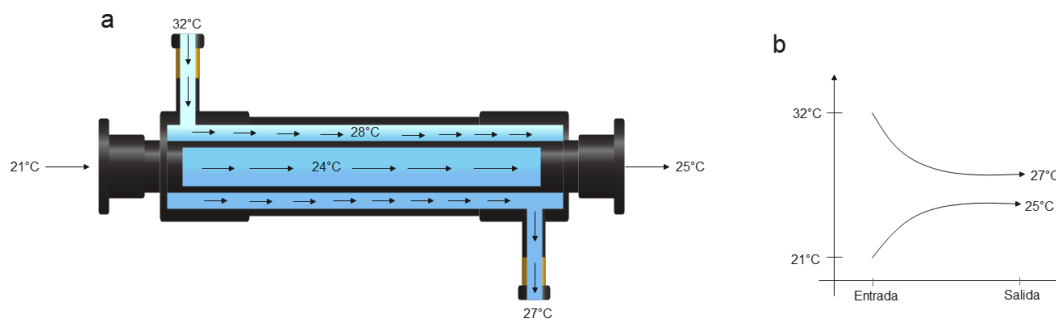


Figura 1. Flujo paralelo en un intercambiador de calor (a) y grafico del comportamiento de las temperaturas (b).

2.1.1.2 Intercambiador de calor de contraflujo.

El contraflujo se presenta cuando los fluidos fluyen a través del intercambiador en sentidos opuestos entre sí. Por ende, cada uno de los fluidos entra al intercambiador de calor por un extremo diferente (Figura 2 a). En este tipo de intercambiadores resulta ser más eficiente la transferencia de calor que los de flujo paralelo [5] y, en

contraste con este último, se puede llegar a presentar que el fluido frío tenga la temperatura más alta y en el fluido caliente manifieste la temperatura más baja una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador como se muestra en la gráfica de la Figura 2 b.

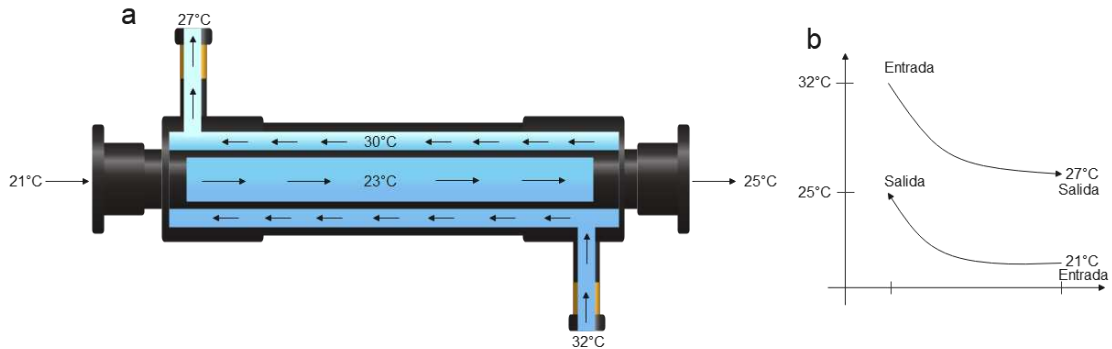


Figura 2. Contraflujo en un intercambiador de calor (a) y grafico del comportamiento de las temperaturas (b).

2.1.1.3 Intercambiador de calor de flujo cruzado.

Un intercambiador de calor de flujo cruzado tiene la característica principal de que la dirección en la que circulan los fluidos a través de él equipo son perpendiculares entre sí (Figura 3 a). Comúnmente este tipo de intercambiadores de calor presenta un cambio de fase en uno de sus fluidos [6], por esta razón es que comúnmente es utilizado como un condensador.

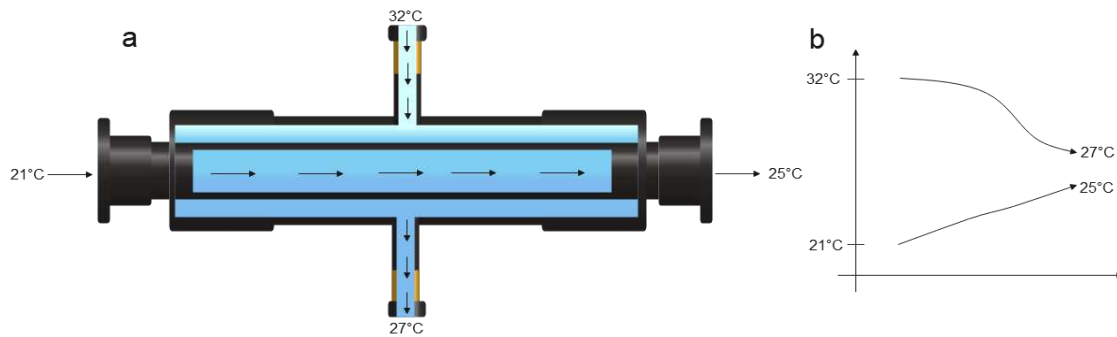


Figura 3. Flujo cruzado en un intercambiador de calor (a) y gráfico del comportamiento de las temperaturas (b).

2.1.2 Tipos de Intercambiadoras de calor según la forma en la que es transferido el calor de un fluido a otro.

Según la forma en la que el calor es transferido de un fluido a otro, los intercambiadores de calor se pueden clasificar en tres categorías principales: regeneradores; intercambiadores de calor de tipo cerrado e; intercambiadores de calor de tipo abierto.

2.1.2.1 Regeneradores.

El regenerador es un intercambiador de calor de coraza y tubos con dos pasos por carcasa y cuatro por tubo [7]. En estos equipos las dos corrientes de fluidos pasan por el mismo conducto del intercambiador de calor de manera alternada el fluido caliente pasa primero por el intercambiador de calor y el calor es absorbido por el cuerpo del equipo, después dicho calor es transferido al fluido frío cuando este fluye por el mismo conducto [3].

2.1.2.2 Intercambiadores de calor de tipo cerrado.

Los intercambiadores de calor de tipo cerrado son aquellos en los que la transferencia de calor se da entre dos corrientes de fluidos las cuales quedan

separadas por un cuerpo. Dicho cuerpo puede ser un tubo, una placa o una pared que evita el contacto directo de los fluidos y, por ende, la transferencia de calor se da sin la necesidad de que los fluidos se mezclen entre sí [3].

2.1.2.3 Intercambiadores de calor de tipo abierto.

A diferencia de los intercambiadores de calor de tipo cerrado, los intercambiadores de calor de tipo abierto permiten la transferencia de calor entre dos fluidos por medio del contacto directo entre los mismos. Es decir, el fluido frío y el fluido caliente entran por separado al intercambiador de calor y dentro de este ocurre una mezcla física completa entre los dos fluidos por lo cual el resultado es una sola corriente de los dos fluidos mezclados.

2.1.3 Tipos de Intercambiadores de calor según su aplicación.

En términos de practicidad este es el mejor criterio en el cual se puede clasificar un intercambiador de calor ya que cada equipo recibe un nombre preciso. Los intercambiadores más conocidos bajo esta clasificación son: calderas, precalentadores, hornos, radiadores, condensadores y aires acondicionados:

2.1.3.1 Calderas.

Las calderas son unos aparatos en los cuales se hace hervir agua para producir vapor. El calor puede ser suministrado: por medio de gases calientes recuperados a la salida de otro aparato industrial, por ejemplo un horno; por irradiación solar o; por una corriente eléctrica [8].

2.1.3.2 Precalentador.

Los precalentadores son un tipo de intercambiador de calor de corza y tubos, el consiste en un conjunto de tubos dentro de un contenedor llamado coraza o carcasa. El flujo del fluido dentro de los tubos se le denomina flujo interno y aquel flujo que fluye en el interior de la coraza, pero al exterior de los tubos, se le denomina flujo externo [9].

2.1.3.3 Horno.

Un horno puede definirse como un intercambiador de calor en el cual se genera calor a través de una llama de combustión, el calor que genera esta llama es transferido a un fluido por radiación y por la convección de los gases calientes que esta genera [10].

2.1.3.4 Radiador.

El radiador es un intercambiador de calor, por lo general de flujo cruzado, donde el fluido caliente que pasa a través del equipo (refrigerante) transmite su calor a un fluido frío, generalmente aire, que pasa por las placas [11] y que comúnmente este fluido frío es impulsado hacia el intercambiador mediante la ayuda de un ventilador. Para disipar el calor del fluido caliente, el radiador cuenta con aletas de metal muy finas unidas a los tubos por donde pasa dicho fluido [12] estas aletas en conjunto con el ventilador y el aire exterior logran disipar el calor del fluido caliente de manera muy eficiente.

2.1.3.5 Condensadores.

Un condensador es un intercambiador de calor latente que convierte un fluido en estado gaseoso a estado líquido, también conocido como fase de transición [13] . Al realizarse únicamente la transferencia de calor latente del fluido gaseoso hacia otro fluido con mucha menor temperatura la temperatura de salida del fluido condensado será la misma que la temperatura en la que entro al condensador.

2.1.3.6 Aire acondicionado.

Consiste en un sistema formado por partes mecánicas y refrigerantes los cuales trabajan juntos para controlar la temperatura de una habitación [5].

2.1.4 Tipos de intercambiadores de calor según las características de construcción.

Debido al amplio campo de aplicaciones que tienen los intercambiadores de calor, estos se pueden presentar en varias formas y tamaños [1]. Pero bien, por la manera en que los intercambiadores son construidos, estos pueden ser categorizados como: intercambiadores de calor tubulares; intercambiadores de calor de coraza y tubos; intercambiadores de calor de tubo en espiral e; intercambiadores de calor de placas [14].

2.1.4.1 Intercambiadores de calor tubulares o de tubo doble.

La forma más simple de un intercambiador de calor es un intercambiador de calor de tubo doble y se compone de dos tubos concéntricos de diámetros distintos. Como se observa en la Figura 4 un fluido corre por el tubo interno mientras el otro lo hace por el espacio anular entre ambos tubos el calor se transfiere del fluido caliente al frío a través de una pared que los separa. Algunas veces el tubo interno tiene un par de vueltas dentro de la coraza para aumentar el área de transferencia de calor y, por consiguiente, la tasa de transferencia de calor [15]. Este tipo de intercambiador de calor es muy útil cuando se opera con velocidades de flujo bajas [16].

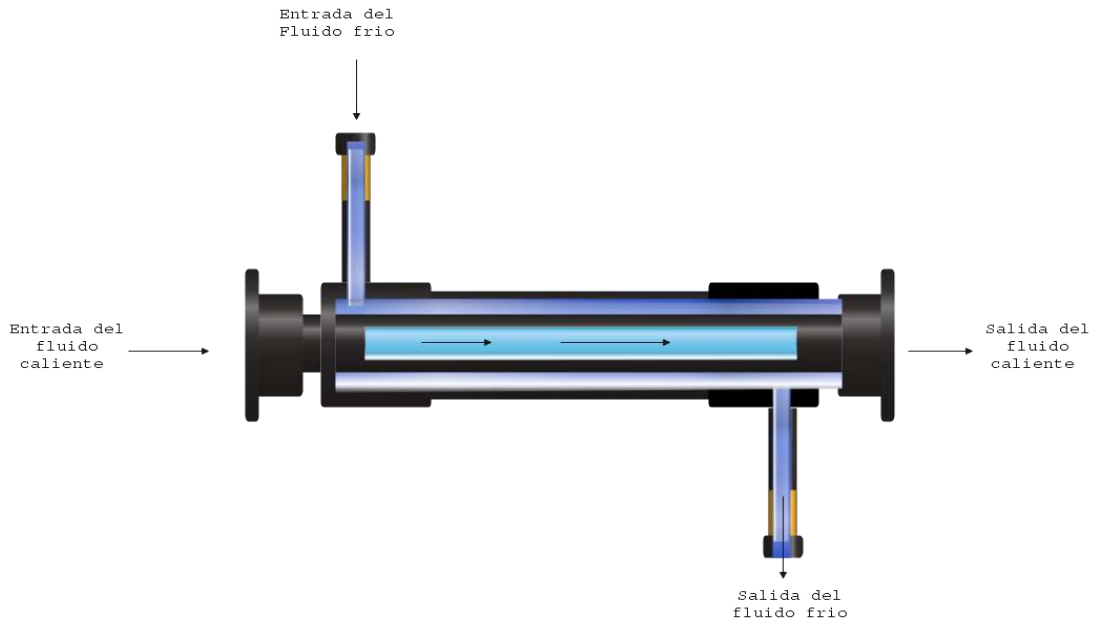


Figura 4. intercambiador de calor tubular.

2.1.4.2 Intercambiadores de calor de coraza y tubos.

Otra configuración común es el intercambiador de calor de tubos y coraza. Este equipo consiste en una carcasa cilíndrica que contiene un arreglo paralelo con respecto a la horizontal. Estos tubos atraviesan una serie de láminas denominadas deflectores que, al ser distribuidos por todo el interior de la coraza, sirven para dirigir el flujo que circula a través de la misma y como soporte para los tubos[1]. A su vez, los deflectores obligan al fluido a fluir perpendicularmente a través del arreglo de tubos en lugar de hacer en paralelo generando una mayor turbulencia la cual aumenta el coeficiente de transferencia de calor [16]. En la Figura 5 se puede ver un modelo simplificado de un intercambiador de calor de tubo y coraza. Los flujos de estos intercambiadores son continuos y estos equipos son construidos con el objetivo de evitar fugas, tener facilidad de limpieza y un mejor control de la corrosión [14]

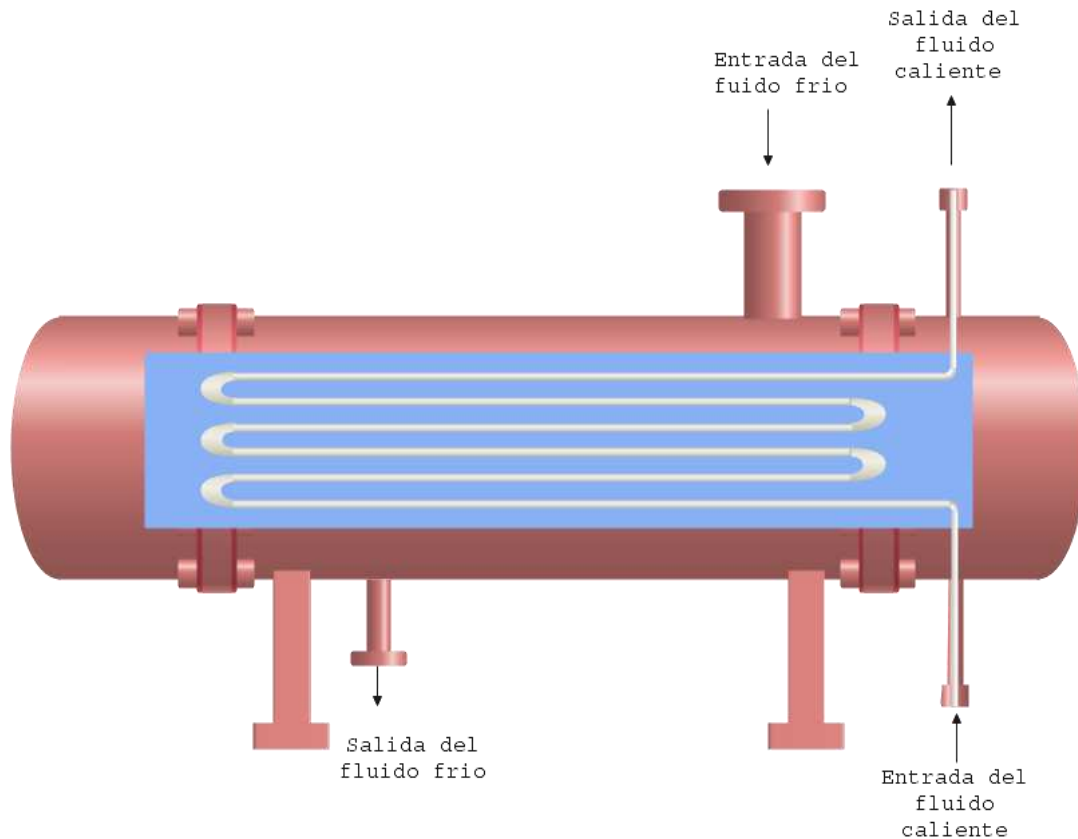


Figura 5. Intercambiador de calor de coraza y tubos.

2.1.4.3 Intercambiador de calor de tubo en espiral.

Este intercambiador de calor consiste en un serpentín, o en un grupo de ellos, enrollados en espiral dentro de un depósito. Estos intercambiadores generalmente se utilizan cuando el requerimiento del área es menor de 2 m^2 [17].

Entre las características más resaltantes este tipo de intercambiador de calor se puede mencionar que se operan a flujo contracorriente, son compactos y pueden emplearse para intercambiar calor entre dos o más fluidos a la vez [18]. La desventaja de este intercambiador de calor es la limpieza del mismo [14].

2.1.4.4 Intercambiador de calor de placas.

EL ICP, o de tipo plasto, consiste en un armazón de placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos, caliente y frío. La estructura de placas, generalmente corrugadas y montadas a presión, forman el área necesaria para la transferencia de calor con ayuda de orificios posicionados de acuerdo a la disposición de los flujos. Generalmente este tipos de intercambiadores no soportan altas temperaturas ni presiones [14].

Estos equipos, a pesar de ser generalmente poco conocidos, tiene patentes de finales del siglo XIX, específicamente hacia 1870, y en los primeros modelos la presión máxima de operación era de 2 bar (0.2 MPa) y la temperatura de 60 °C. Pero a pesar de que los diseños a lo largo del tiempo han permanecido prácticamente intactos los continuos avances han incrementado las presiones y temperaturas de operación hasta los 30 bar (3 MPa) y 250 °C, respectivamente [18].

Normalmente, el conjunto de placas se encuentra sellado gracias al uso de juntas o empaques de caucho, estos permiten que el mantenimiento y la limpieza en el equipo sea posible. Sin embargo, existe una variante de este equipo en la cual las placas no llevan empaques, sino que son soldadas, haciendo imposible la limpieza y el mantenimiento. El **Intercambiador de Calor de Placas Soldadas (ICPS)** generalmente permite trabajar a temperaturas y presiones más altas que los **Intercambiadores de Calor de Placas Empacadas (ICPE)** [17].

Una sola placa de estos intercambiadores de calor tiene un área superficial muy grande, por tanto, estas proveen un área extremadamente grande de transferencia de térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de calor de placas es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de calor de coraza y tubos con volumen semejante [1].

2.1.4.4.1 Componentes de un intercambiador de calor de placas empacadas.

En la Figura 6 se pueden visualizar los componentes de un ICPE los cuales consisten en: un conjunto de **placas metálicas**, que permiten el paso de los fluidos entre ellas; las placas son selladas por un conjunto de **empaques**; el armazón de placas y empaques son sujetados con la ayuda de un **marco o bastidor**, que consiste en una placa fija, una placa móvil y, dos barras guía que ayudan a asegurar una alineación correcta; los marcos son sujetos con la ayuda de pernos, estos reciben el nombre de pernos de sujeción y; en la placa fija del bastidor se encuentran 4 **boquillas**, las cuales permiten la conexión de tuberías que conducen los fluidos frío y caliente hacia el interior de las placas [19].

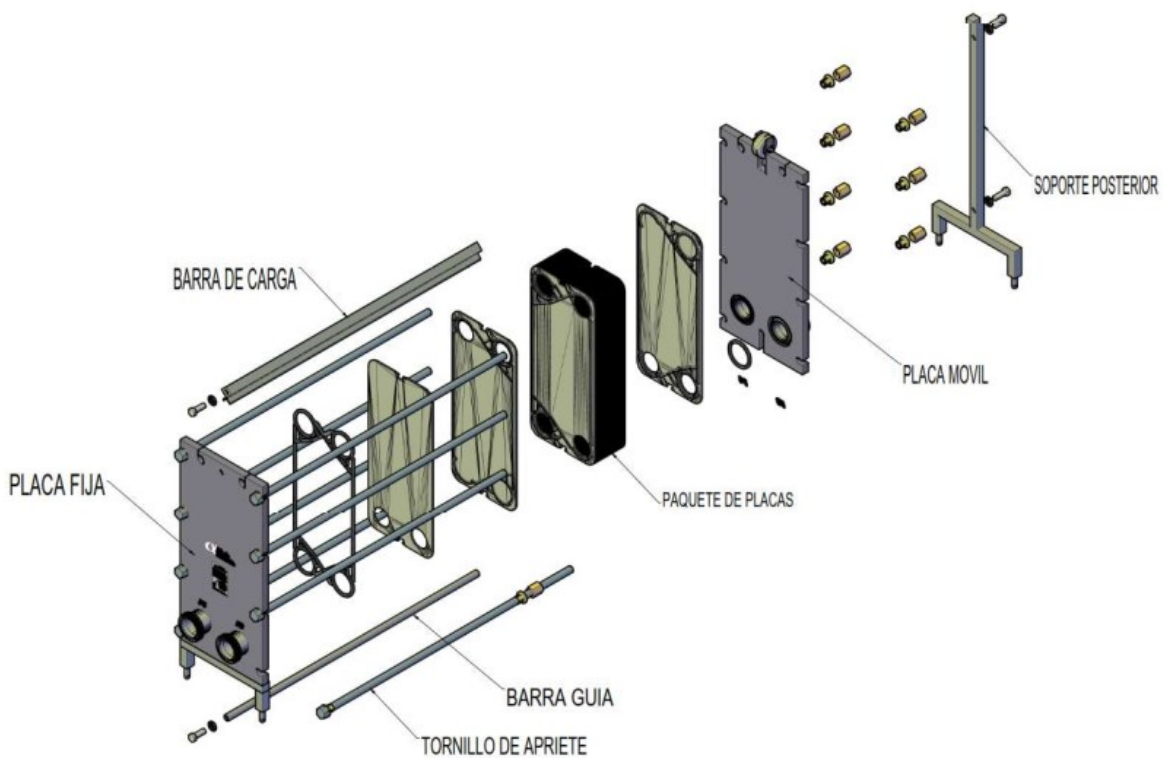


Figura 6. Componentes de un intercambiador de calor de placas empacadas [20].

2.2 Fundamentos de la transferencia de calor.

En el contenido de este texto se hablará de diferentes temáticas fundamentales de la termodinámica para la comprensión del fenómeno de la transferencia de calor entre dos fluidos mediante un ICPE.

2.2.1 Calor, temperatura y desequilibrio térmico.

Cengel y Bor definen el concepto de calor como la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas cuando existe una diferencia de temperatura. A su vez, la temperatura es la forma en la que se mide el calor que se transfiere entre dichos sistemas, cuando va a ocurrir una transferencia de energía en forma de calor entre dos sistemas se dice que estos están en desequilibrio térmico.

Energía.

Michinel Machado y D'Alessandro Martínez establecen a la energía como “una magnitud física que se presenta bajo diversas formas, que está involucrada en todos los procesos de cambio de estado, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia y fijado éste se conserva” [20] en su artículo: *“El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje”* Dicha definición fue construida haciendo una investigación documental con diversos autores que manejaban el tema como la capacidad que se tiene en un sistema para hacer un trabajo y tomando en cuenta las características que le son propias al termino mediante un análisis de los diversos textos.

2.2.2 Transferencia de la energía.

La energía puede transferirse, hacia o desde, un sistema termodinámico cerrado en dos maneras: en forma de calor o en forma de trabajo. Además de eso, es importante saber que para volúmenes de control la energía se puede transferir a través de un flujo de masa [19].

2.2.2.1 Transferencia de energía por calor.

El calor se transfiere por tres mecanismos: conducción, convección y/o radiación.

Conducción: es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menor energéticas, como resultado de la interacción entre partículas [19].

Convección: es el mecanismo en el cual se transfiere el calor a través del desplazamiento de masa en el seno de un fluido, lo que origina la mezcla de zonas de partículas que están más energéticas con las zonas de partículas menor energéticas y, por consiguiente, el intercambio de calor entre ellas [21].

Radiación: es la transferencia de energía debido a la emisión de ondas electromagnéticas [19].

2.2.3 Primera ley de la termodinámica.

La primera ley de la termodinámica es una consecuencia del principio de la conservación de la energía, la cual puede establecerse diciendo que:

“El calor puede ser transformado en trabajo mecánico, o, el trabajo mecánico puede ser transformado en calor existiendo una relación constante entre la cantidad de calorías suministrada y el trabajo producido y viceversa”. Esta relación constante es el trabajo mecánico del calor “J” [22].

Otra manera de entenderse: es que, si en un sistema se gana energía, esta energía se perdió por los alrededores de tal manera que no se “crea” nueva energía [23].

Con base en los conceptos y definiciones del principio de la conservación de la energía y la primera ley de la termodinámica es que se define la ecuación global final de balance de energía.

$$\Delta E = Q - W \qquad \text{Ec.1}$$

Donde E es la energía total por unidad de masa del fluido, Q es el calor absorbido por unidad de masa del fluido, y W es cualquier clase de trabajo realizado por unidad de masa del fluido sobre los alrededores [16].

2.2.3.1 Energía Interna y Entalpía.

Entre las propiedades más comunes utilizadas en los sistemas termodinámicos tenemos a la Energía Interna (U) y la Entalpía (H).

La termodinámica define a la Energía interna como la energía contenida en la materia. En otras palabras, son el calor y el trabajo, cedidos o concedidos, en un sistema termodinámico durante un proceso, ΔU es la variación de energía que este sistema debido a dicho proceso. dicho esto, y en lo establecido en la primera ley de la termodinámica (Ec. 1), podemos definir a la energía interna como:

$$\Delta U = Q + W \quad \text{Ec.2}$$

Como ya se mencionó anteriormente, Q y W son el calor y el trabajo, respectivamente, de un sistema termodinámico durante un proceso y tanto el calor como el trabajo tendrá signo positivo si entran en el sistema (aumentando su energía interna) y signo negativo si salen del mismo (disminuyendo su energía interna). [24].

En muchos de los análisis de los sistemas termodinámicos abiertos, es muy común que al tener transferencia de energía por calor el volumen de estos sistemas cambie, de ahí es que se denominan volúmenes de control, este cambio de volumen genera un desplazamiento en el sistema que se ve reflejado como una forma de trabajo mecánico ($W = P\Delta V$) el cual puede calcularse tomando en cuenta el producto de la presión por el cambio de volumen. Además de eso, como ya se mencionó antes, también se tendrá un aumento o disminución en la energía interna. En termodinámica a la suma de la energía interna y al producto de la presión y el volumen se le denomina Entalpía [23].

$$H = U + PV \quad \text{Ec.3}$$

En el trabajo neto realizado por el cambio de volumen por lo general se desprecia la contribución del trabajo cortante [16]. Dicha deducción se establece solo para procesos donde se mantenga una presión constante, es decir, en procesos isobáricos. Dicho de otra forma, la entalpía es una propiedad cuyo variación coincide con el calor intercambiado en procesos isobáricos [25].

2.2.4 Balances de materia y energía en los Intercambiadores de calor.

En los IC durante el proceso de transferencia de calor los fluidos sufren un cambio de entalpía y, por lo general, la energía cinética, potencial y la fricción del fluido se desprecian. El balance de materia y energía se puede expresar a través de la primera ley de la termodinámica como:

$$\sum \dot{m}_e h_e = \sum \dot{m}_s h_s \quad \text{Ec.4}$$

Donde \dot{m}_e y h_e representan el flujo másico y la entalpía específica, respectivamente, del fluido a la entrada del intercambiador, de igual forma, \dot{m}_s y h_s representan el flujo másico y la entalpía específica, respectivamente, del fluido a la salida del intercambiador.

De la ecuación de balance de materia y energía para los IC podemos decir que las principales variables a tomar en cuenta son: el flujo másico, o volumétrico, y; el calor, tomando en cuenta que anteriormente se definido a la entalpia como una propiedad cuya variación coincide con el calor intercambiado.

En el caso de los IC, puesto que operan con fluidos, es muy común operar en flujos volumétricos equivalentes a los flujos másicos a tratar

2.3 Medición del flujo volumétrico.

En el caso de los IC, puesto que operan con fluidos, es muy común operar en flujos volumétricos (caudales) equivalentes a los flujos másicos a tratar.

Medir el caudal de los líquidos es una necesidad crítica en muchas plantas industriales. La capacidad de realizar mediciones precisas del caudal es tan importante que puede hacer la diferencia entre obtener beneficios u obtener pérdidas.

Con la mayoría de instrumentos de medición de caudal de líquidos o también llamados caudalímetros, el caudal se determina mediante la medición de la velocidad del líquido o mediante el cambio de energía cinética. La velocidad depende de la presión diferencial que está obligando a que el líquido circule a través de un tubo o conducto [25].

2.3.1 Tipos de medidores de caudales.

En la actualidad, existe una gran variedad de caudalímetros, tanto mecánicos como electrónicos. Entre las clasificaciones más comunes que se pueden llegar a encontrar son: medidores de presión diferencial; de velocidad; máscos; volumétricos y; de área variable.

2.3.1.1 Medidores de presión diferencial.

Los medidores de flujo de presión diferencial se basan en el principio de que al reducir el área perpendicular a la dirección del flujo existe un aumento de velocidad y una disminución de presión, tal diferencia de presión es captada por dos tomas de presión colocadas antes y después de la reducción del área, tal pérdida de presión causada por la reducción del área es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido [26].

2.3.1.1.1 Placa orificio.

La placa de orificio es un sensor de flujo muy utilizado en diferentes procesos industriales, debido a que es económico, de fácil fabricación, instalación, bajo costo de mantenimiento y puede medir flujo de fluidos compresibles e incompresibles. Sin embargo, presenta las desventajas de inducir caídas de presión, además es menos preciso en comparación con otros medidores de flujo existentes [26].

La placa de orificio consta de una placa perforada insertada en una tubería perpendicularmente a la dirección del flujo y dos tomas de presión conectadas antes y después de la placa para captar la diferencia de presión (Figura 7)

..

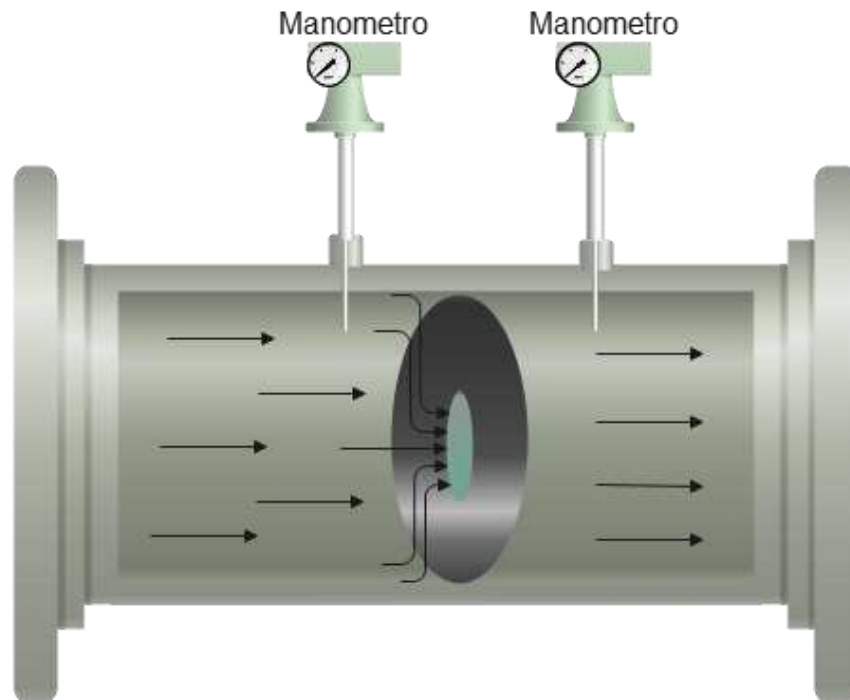


Figura 7. Caudalímetro de placa orificio.

2.3.1.1.2 Tubo Venturi.

El caudalímetro de tubo de Venturi, o venturímetro es un aparato que consta de tres secciones principales: una pieza convergente (tobera), una divergente (difusor) y una sección intermedia que constituye la garganta o estrechamiento [27] lugar en el cual se coloca la toma de baja presión como se observa en la Figura 8. [26].

Este dispositivo se diferencia del anterior en que la sección transversal de la conducción se reduce gradualmente hasta una mínima (garganta) para luego ir aumentando de nuevo más paulatinamente hasta recuperar la sección original de la conducción, además tiene un costo 20 veces mayor [26].

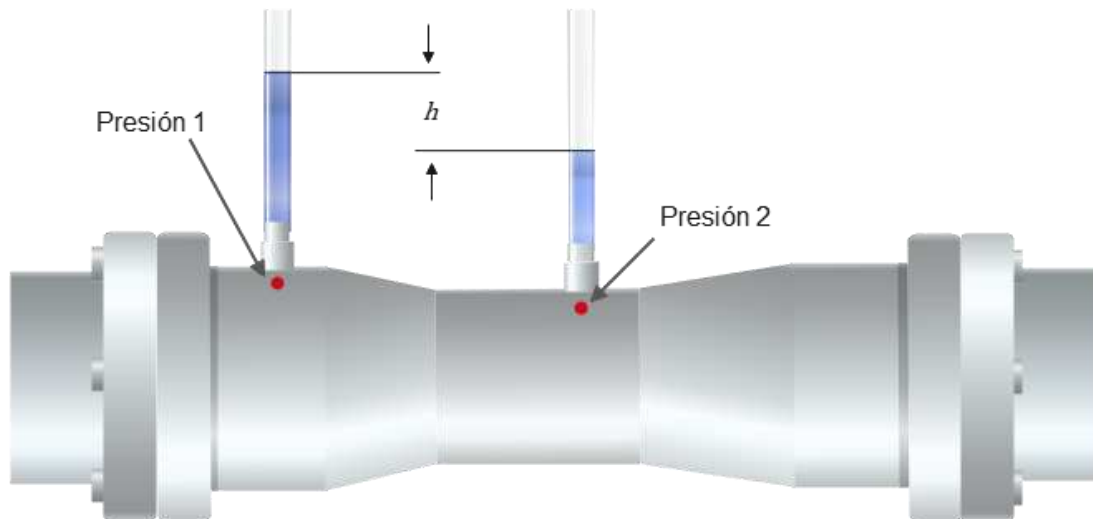


Figura 8. Caudalímetro de tubo Venturi.

2.3.1.1.3 Tubo de Pitot.

Es uno de los más exactos para medir la velocidad de un fluido dentro de una tubería. El tubo mide las presiones dinámicas y con estas se puede encontrar la velocidad del fluido [25].

El tubo Pitot es simplemente un tubo hueco de sección circular de pequeño diámetro doblado en L cuyo eje se alinea con la dirección de la velocidad de flujo en el punto de medida. El tubo de Pitot se conecta a un transductor de presión como por ejemplo un manómetro de columna. La presión leída en ese transductor corresponde a la presión del punto E. (vea la Figura 9) que se denomina presión de estancamiento. Además, si el tubo de Pitot se combina con un tubo o abertura piezométrica que

permita medir la presión estática en el punto 0, será posible relacionar la velocidad con la diferencia de presiones medidas [28].

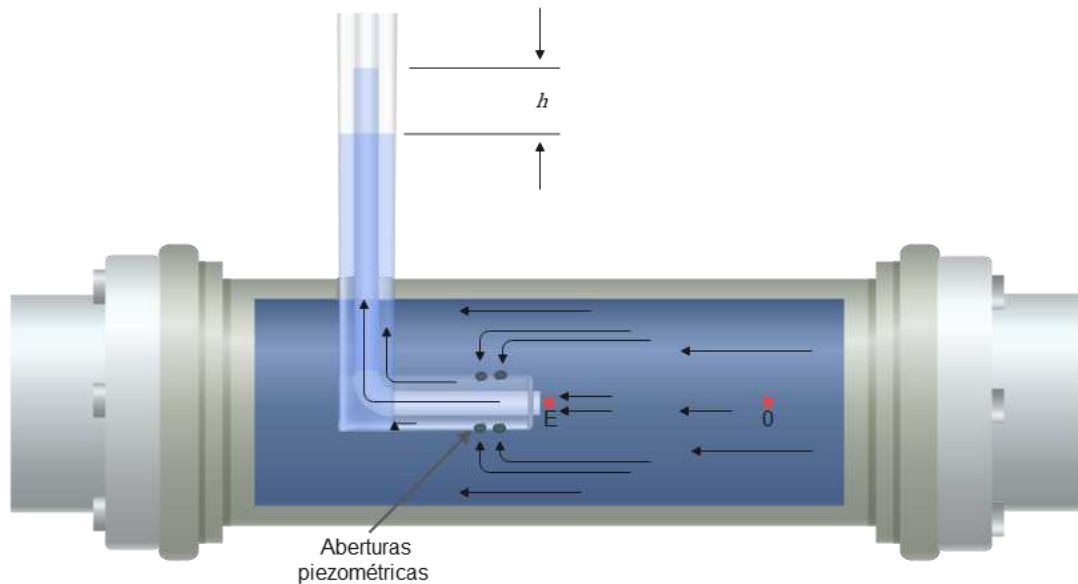


Figura 9. Caudalímetro de tubo Pitot.

2.3.1.2 Medidores de velocidad.

Como su nombre lo indica, estos caudalímetros se encargan de medir la velocidad a la que el fluido fluye a través de un conducto o una tubería.

2.3.1.2.1 Medidor de turbina.

El fluido hace que la turbina gire a una velocidad que depende del flujo volumétrico. Cuando el fluido hace girar el rotor de la turbina una bobina electromagnética produce un pulso de voltaje que entra a un medidor de frecuencia, un contador electrónico, o un dispositivo similar cuyas lecturas se convierten a flujo volumétrico [29].

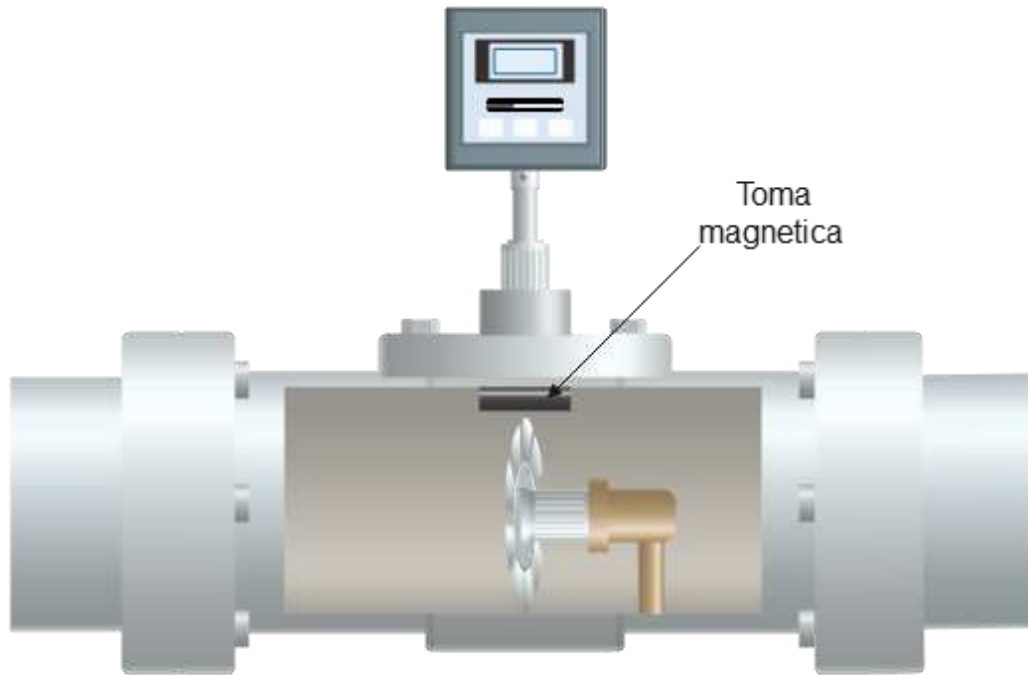


Figura 10. Caudalímetro de turbina.

2.3.1.2.2 Medidor electromagnético.

El principio en el que se basan estos caudalímetros es la ley de Faraday de la inductancia electromagnética. La cual dice que la fuerza electro motriz inducida a través de cualquier conductor, al moverse este perpendicularmente a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad de dicho conductor por lo cual este medidor de flujo requiere que el fluido sea conductor eléctrico [27]. En el caso de la medición del flujo, el fluido es el conductor y la señal generada es captada por dos electrodos colocados sobre la pared de la tubería colocados diametralmente opuestos como se muestra en la figura 11. Por lo tanto, cuando el flujo se mueve a través del campo magnético el potencial eléctrico inducido se detecta y es medido por los electrodos y la magnitud promedio de la velocidad del flujo en la tubería se mide mediante la FEM (Fuerza Electro Motriz) generada.

Los caudalímetros magnéticos son muy precisos a lo largo de grandes rangos de caudal y son especialmente precisos para caudales pequeños [30].

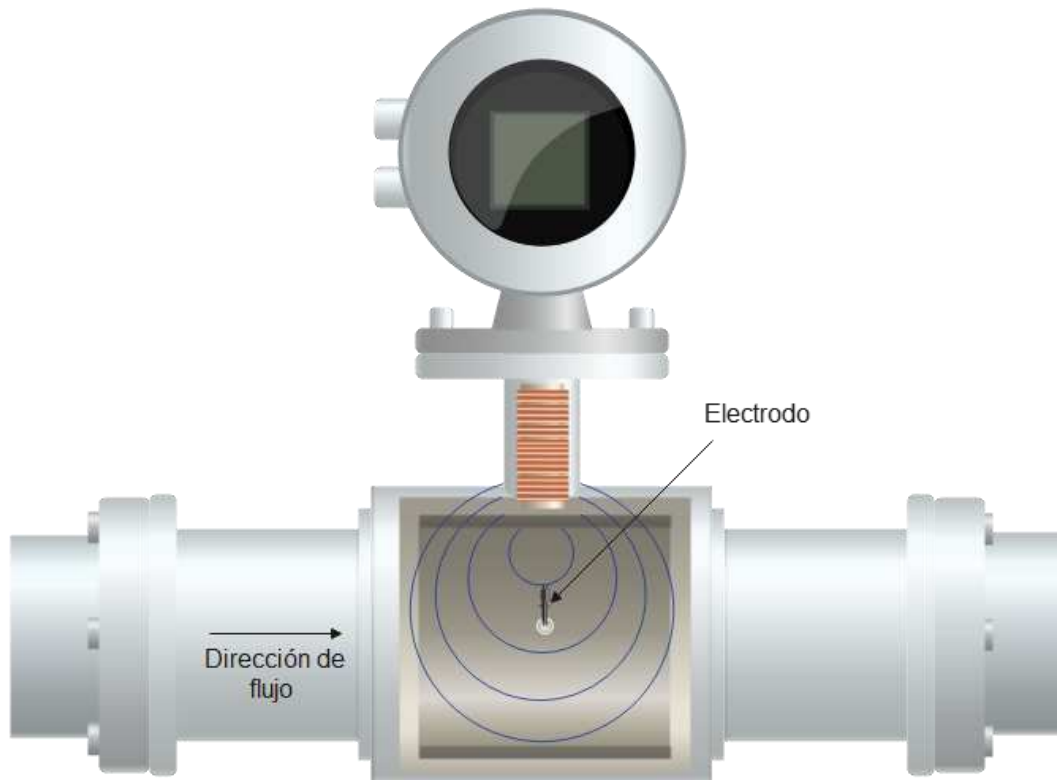


Figura 11. Caudalímetro electromagnético.

2.3.1.2.3 Medidor v3ortex.

En el medidor vortex se coloca una obstrucción en el flujo normal del líquido y este arroja remolinos a una frecuencia que tiene proporción con la velocidad del líquido. Los vórtices son arrojados en un patrón que tiene por nombre Von Kármán [31] y un sensor detecta los vórtices y genera una señal para el dispositivo de lectura del medidor como se observa en la Figura 12. Los sensores detectan variaciones de presión alrededor de los vórtices y generan una señal que alterna a la misma frecuencia que la del alejamiento del vórtice [30].

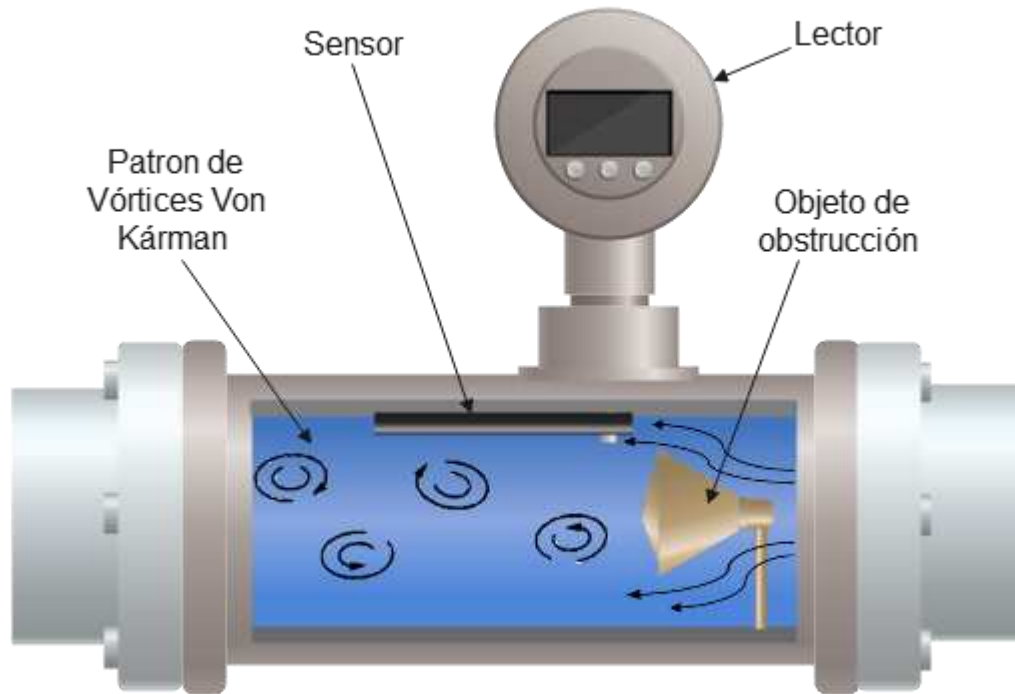


Figura 12. Caudalímetro vortex.

23.1.2.4 Medidor ultrasónico.

En los medidores ultrasónicos se coloca un generador ultrasónico al exterior del tubo y se transmite una señal de alta frecuencia a través de la pared del tubo y de la corriente del fluido [30], comúnmente se coloca en un ángulo agudo con respecto del eje de la tubería (vea la Figura 13). Para medir el caudal estos medidores miden el tiempo que tardan las ondas emitidas en atravesar la tubería (tiempo de tránsito) en ambos sentidos, y la diferencia entre los tiempos está directamente relacionada con la velocidad del flujo [32].

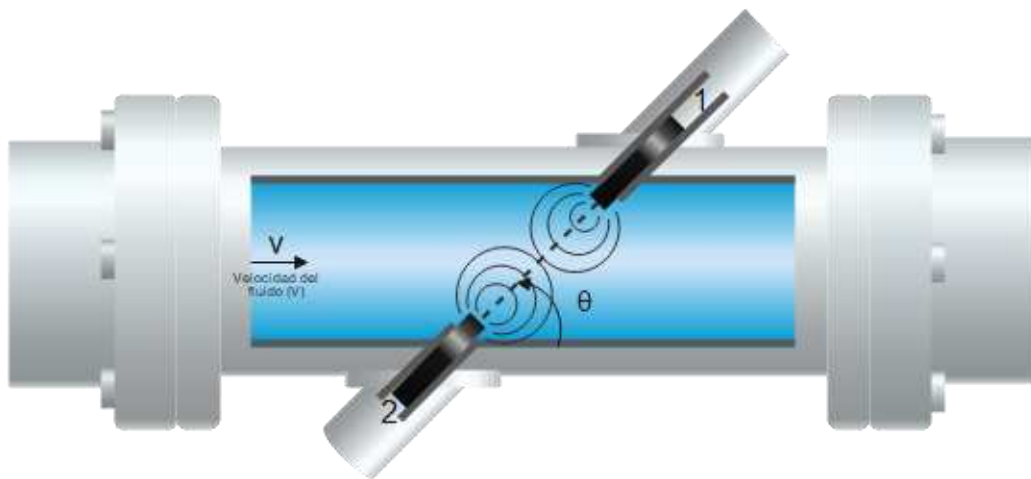


Figura 13. Diagrama esquemático para un caudalímetro ultrasónico.

2.3.1.3 Medidores máscicos.

Los caudalímetros máscicos se encargan de medir la masa del fluido que fluye a través de un conducto por unidad de tiempo. Los tipos más usados de caudalímetros máscicos son por principio de Coriolis y los máscicos térmicos [33].

2.3.1.3.1 Medidor máscico térmico.

El método por el cual funcionan los caudalímetros máscicos térmicos consiste aplicar calor en algún punto del trayecto del fluido. Un flujo máscico permite que el calor alrededor de este punto se disipe y por consecuente se crea una diferencia de temperatura que es directamente proporcional a la velocidad a la que el fluido pasa a través de la tubería. Para obtener esta diferencia de temperaturas se mide la temperatura que tiene el flujo antes y después del punto en el cual se aplica calor [29].

2.3.1.3.2 Medidor de Coriolis.

Estos medidores utilizan un tubo vibrante en el cual se puede crear y medir una aceleración de Coriolis a un fluido en un lazo de caudal [30]. El efecto Coriolis es un fenómeno que se produce cuando un objeto se mueve en forma radial sobre un disco en rotación. A medida que un cuerpo de masa “ m ” se mueve sobre un disco que gira desde el centro hacia el borde en forma radial, va aumentando su velocidad tangencial. Eso implica que existe una aceleración sobre la masa que produce una fuerza conocida como “Fuerza de Coriolis” [33].

El caudal en estos equipos se consigue analizando electrónicamente los cambios en las fuerzas de Coriolis generados el flujo de un fluido que pasa a través de un conducto oscilante, dichos conductos están encapsulados en un compartimiento y equipados con sensores de movimiento y un transmisor que recoge dichas oscilaciones y transmite esa información. Por último, el flujo másico es determinado midiendo la diferencia de tiempo que se genera en el desfase entre las dos ondas sinusoidales que son obtenidas por los sensores [34].



Figura 14. Medidor de flujo Coriolis.

2.3.1.4 Medidores volumétricos.

Los caudalímetros volumétricos, como su nombre, su principio de funcionamiento se basa en medir el volumen del líquido o de la solución que fluye a través de la tubería por unidad de tiempo. Entre este tipo de medidores los más utilizados son los medidores de desplazamiento positivo.

2.3.1.4.1 Medidor de desplazamiento positivo.

Los medidores de desplazamiento positivo son instrumentos que separan el caudal de flujo en pequeñas cantidades para cuantificarlo y la medición final se realiza con el recuento del número de fracciones por unidad de tiempo. Una de las principales características de este tipo de medidores es que son accionados por la energía proporcionada por el mismo flujo, además que el fluido pasa sin perturbaciones durante la medición, y no se desperdicia energía agitando innecesariamente el líquido [35].

El principio de funcionamiento se encuentra esquematizado en la Figura 15 en la cual se observa una cámara giratoria de volumen fijo está representada por los cuatro alabes A, D, C y B. El caudal entra por la izquierda y va rellenando la cámara. Al comienzo, A cierra la cámara y B permite el paso del fluido (Figura 15. a). A continuación, A pasa por la posición vertical (Figura 15. b), pero los demás alabes no cierran el fluido hasta que B ocupa la posición inicial de A (Figura 15. c). En este momento hay un volumen definido que se transfiere al caudal cuando B está vertical (Figura 15. d). Se observa que, para poder girar, la base rotatoria de la cámara presenta un pequeño vano por donde hay un caudal de fugas esto desencadena que este tipo de medidor tenga un error del 0.15% [36].

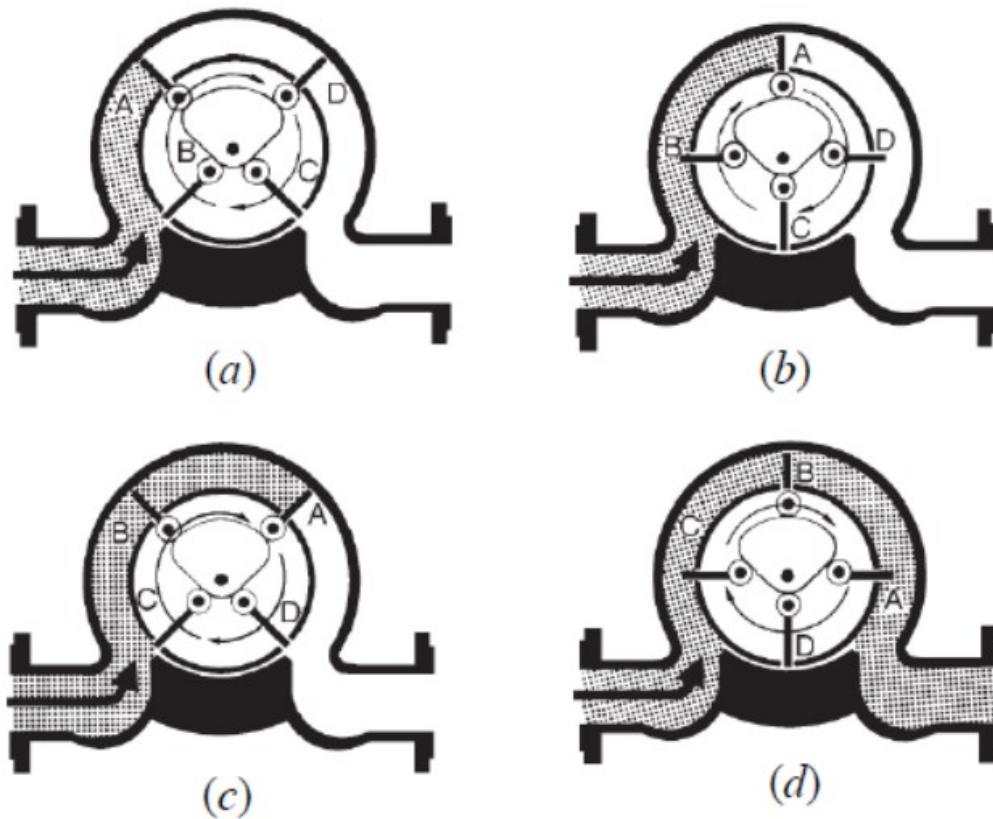


Figura 15. Principio de funcionamiento del medidor de desplazamiento positivo [36].

2.3.1.5 Medidores de área variable.

El ejemplo más común utilizado de los medidores de área variable es el rotámetro, el cual consta de un tubo transparente vertical, que amplía su área transversal, y un medidor de flotador el cual se desplaza hacia arriba por la acción del flujo a medir. El tubo contiene una escala para leer directamente el caudal. En algunos casos, El flotador tiene una ranura que hace que rote y por consiguiente que mantenga una posición central en el tubo.

2.3.1.5.1 Rotámetro.

Como se puede observar en la Figura 16 el rotámetro consiste en un flotador, a veces con un surco en espiral en sus paredes verticales, encerrado en un tubo de vidrio troncocónico. Al pasar el fluido, el flotador asciende, girando si está dotado de la espiral aludida, y se sitúa a una altura determinada según la velocidad del mismo. El flotador determina por su peso la diferencia constante de presión. Como el tubo es troncocónico, a medida que ocupa posiciones más elevadas el flotador deja mayor espacio entre él y el tubo para el flujo del fluido. También en la Figura 16 se puede observar que exteriormente al tubo va adosada una escala, en la que la parte superior del flotador indica la velocidad o caudal correspondiente [37].

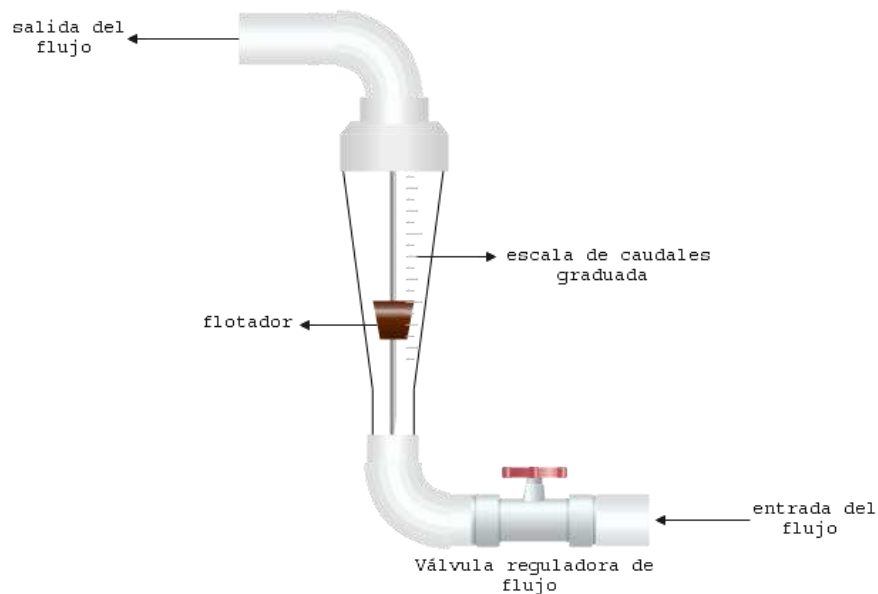


Figura 16. Representación esquemática de un rotámetro.

Por lo general, el flotador del rotámetro es de forma cilíndrica con un disco en su extremo, y provisto de orificios laterales por donde circula fluido que inducen una rotación alrededor de su eje para propósitos de estabilidad y centrado. Existen

también elementos sensibles de forma esférica, utilizados por lo general para medición de bajos caudales que carecen de rotación [38].

2.3.1.5.1.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de los rotámetros se basa en el equilibrio de fuerzas que actúan sobre el flotador. Las fuerzas que actúan sobre el flotador son tres y de naturaleza distinta [38].

- **Fuerza de origen aerodinámico** o resistencia aerodinámica, D actuando hacia arriba.
- **Fuerza de Arquímedes o empuje hidrostático**, E también actuando hacia arriba.
- **Fuerza gravitatoria** o peso W actuando hacia abajo.

En condiciones de estabilidad, el flotador se mantiene a una altura constante, y el equilibrio de fuerzas es tal que la suma de la resistencia aerodinámica D y el empuje hidrostático E equilibran al peso W , pudiendo plantearse la siguiente ecuación de equilibrio:

$$\sum F_v = D + E - W = 0 \quad \text{Ec.5}$$

$$D + E = W \quad \text{Ec.6}$$

2.3.1.5.1.2 Calibración

En la calibración de los rotámetros de la marca Cole Parmer, los cuales tienen una columna de vidrio graduada con diferentes alturas y un balín de carboloy marca la altura correspondiente. Para saber el flujo que se hace pasar a través del rotámetro se gradúa en cada altura un valor asignado de flujo en unidades de volumen por unidades de tiempo.

Para agregar un flujo en cada altura es necesario el uso de otro medidor ya calibrado. En el caso de los rotámetros Cole Parmer se hace uso de un medidor de vía húmeda, marca Precision Scientific Inc., modelo 63126, con una precisión de $\pm 0.5\%$ de la lectura de volumen [39].

Leticia Camacho Amador describe en su tesis “Estudio fisicoquímico del comportamiento en densidad, tensión superficial y espumación de soluciones acuosas con las alcanolaminas 1-amino-2-propanol y 2-piperidinaetanol” el procedimiento que se siguió para calibrar un rotámetro con la ayuda de un medidor de vía húmeda. El procedimiento que dicha autora utilizó es básicamente el siguiente:

1. Se abre el paso al fluido en cuestión a través del rotámetro con una columna graduada desde 0 hasta n centímetros en intervalos de m milímetros. Posteriormente con la ayuda de una válvula milimétrica se estabiliza el flotador en una altura determinada.
2. Una vez fijada la altura dentro de la columna, se procede a medir el volumen del flujo que pasa por el medidor, en el caso del estudio antes mencionado el medidor de vía húmeda para gas, con la ayuda de otro medidor y con un cronometro se hacen las mediciones del tiempo para con estos dos valores hacer el cálculo del caudal.
3. Cada punto del flujo volumétrico correspondiente cada altura se repitió un cierto número de veces para obtener un flujo promedio.
4. Con el promedio de los flujos volumétricos y las alturas en el rotámetro se grafica una línea de tendencia para calcular la desviación estándar con respecto a los datos experimentales.

2.4 Baño Termostático para laboratorio.

El **Baño Termostático (BT)** es un equipo de laboratorio el cual consiste en un recipiente lleno de agua la cual es mantenida a temperaturas constantes mediante resistencias. El baño termostático, también conocido como **baño serológico**, **baño maría para laboratorio** o simplemente **baño de agua**, es utilizado con agua en rangos de temperatura que van desde ambiente hasta los 90 °C [41].

2.4.1 Tipos de baños termostáticos.

Para estos equipos de laboratorio Salazar Vallejo, Mario Hernán Guayasamín Quishpe, María José Molina Paredes y Joselin Tatiana mencionan en su trabajo “Baño María Tratamientos Térmicos Isotérmico Sistema De Control” cuatro variantes de este equipo, las cuales son: **baño termostático con agua no recirculante**, los cuales únicamente se encargan de mantener una temperatura constante para el agua que está dentro del contenedor; **baño termostático con agua recirculante**, la recirculación en estos equipos es necesaria para mantener una uniformidad y consistencia en la temperatura para experimentos enzimáticos; **baño termostático de laboratorio con sacudido**, este equipo cuenta con un control adicional para agitar las sustancias dentro del instrumento, y; **baño termostático de laboratorio con aceite** que, como su nombre lo indica, está diseñado para funcionar con aceite en lugar de agua y poder alcanzar temperaturas de hasta 200 °C [40]. En la Tabla 1 se enlistan algunas de las características principales para cada tipo de equipo.

Capítulo 2. Marco teórico (Antecedentes).

Tabla 1. Características principales de los diferentes tipos de baño maría para laboratorio [43].

Tipo de BT	Características
con agua circulante	<ul style="list-style-type: none">- Alcanza temperaturas de 100 °C- Tienen costos elevados- Tiene uniformidad en el calentamiento del agua- Se utiliza para experimentos serológicos y enzimáticos
con agua no circulante	<ul style="list-style-type: none">- Alcanza temperaturas de 90 °C- Es fácil de manipular- Son de bajo costo- Se utilizan en procesos de incubación y en actividades fáciles de trabajar
con sacudido	<ul style="list-style-type: none">- Cuenta con un control adicional para agitar las sustancias dentro del instrumento- Es utilizado en prácticas microbiológicas- Permite que los cultivos celulares del aparato se puedan mezclar constantemente con el aire
con aceite	<ul style="list-style-type: none">- Permite alcanzar una temperatura de hasta 200 °C- Se deben utilizar fluidos que no se evaporen, como el aceite.- Son equipos de alto costo.

Capítulo 3

Planteamiento del problema

3.1. Identificación. En el laboratorio de química del instituto tecnológico superior del sur de Guanajuato se encuentra un intercambiador de calor a placas sin operar, dicho equipo necesita ser aprovechado por los estudiantes del instituto y para esto debe de ponerse en operación. Además de eso, en el laboratorio de química se encuentra un baño de termostático que, al igual que el intercambiador, no se le está dando un uso. El baño puede fungir como la fuente de fluido caliente que necesita el intercambiador para funcionar. Sin embargo, debido a que los fabricantes de los baños comúnmente diseñan estos equipos para la colocación de muestras dentro del contenedor del agua, es necesario determinar la manera y las condiciones en las cuales estos dos equipos trabajaran de manera sincronizada.

3.2. Justificación. Para un ingeniero el conocer la importancia, el funcionamiento y el mantenimiento de un intercambiador de calor es pieza clave para reforzar los conocimientos adquiridos en algunas de las asignaturas de la carrera de ingeniería ambiental, por ejemplo: balance de materia y energía, termodinámica, componentes de equipo industrial, procesos de separación, fenómenos de transporte, etc. La práctica y la adquisición de conocimientos empíricos en cuanto al manejo y operación de dichos equipos pueden ser de gran sustento para que el ingeniero tenga siempre presente dichos conocimientos y pueda aplicarlos más fácilmente, cuando los requiera, en el sector industrial. Para el funcionamiento de un intercambiador de calor de placas es necesario el suministro constante de agua a temperatura constante, una forma de medir el flujo, la temperatura y un destino para el agua que sale del intercambiador, debido a eso, es necesario el diseño e instalación de un prototipo que incluya la conexión entre el baño termostático

y el intercambiador además de los dispositivos necesarios para la medición del flujo y la temperatura.

- 3.3. Alcance.** El presente proyecto tiene como finalidad instalar y operar un prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor a escala de laboratorio, el cual está constituido principalmente por un intercambiador de calor de placas y un baño termostático, en diferentes condiciones de flujo y temperatura.

Se diseñará un diagrama de proceso en el cual se ilustran las conexiones entre el equipo de transferencia de calor, los rotámetros y el baño de temperatura constante.

Se instalarán y los equipos en el laboratorio de química del edificio E del ITSUR. Por último, se elaborará un manual de operación y mantenimiento para el prototipo. Todo lo anterior mencionado se llevó a cabo en el periodo agosto – diciembre 2021 y fue continuado en el periodo enero- junio 2022.

Capítulo 4

Objetivos

- 4.1. **Objetivo general.** Instalar y operar un prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor a escala de laboratorio.

- 4.2. **Objetivos específicos.**
 - i. Diseñar de un diagrama de flujo de proceso y una ilustración detallada de los componentes del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.

 - ii. Construir rotámetros que permitan medir la velocidad del flujo en ambas entradas del ICP.

 - iii. Realizar la instalación y conexión completa del prototipo.

 - iv. Analizar el comportamiento del BT al calentar agua a 40 °C cuando se manipulan los flujos de 0.5, 1, 2 y 3 L/min.

 - v. Crear un manual de operación y mantenimiento en base a los resultados obtenidos.

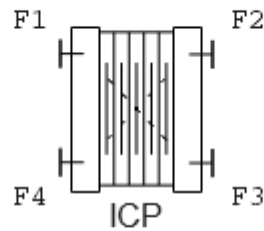
Capítulo 5

Metodología

5.1 Diseño del diagrama de flujo de proceso para el funcionamiento de la instalación del prototipo.

El diagrama de flujo de procesos queda definido y condicionado por los equipos que conforman el prototipo (ICP y BT). Para los procesos y las partes que involucra la instalación, el módulo o el proceso principal es el ICP ya que ahí es donde convergen las dos corrientes de fluidos, en este caso agua, para que se lleve a cabo la transferencia de calor. A partir del ICP, el diagrama de flujo se elaboró de la siguiente manera:

1. Como ya se mencionó en el capítulo 2, el ICP cuenta con dos entradas y dos salidas. Dichas entradas y salidas quedaron definidas como F1, F2, F3 y F4 de las cuales F1-F4 y F2-F3 es el arreglo que tiene el equipo de las entradas/salidas, más específicamente F1 y F4 corresponden a las entradas y salidas del **lado izquierdo** y, por consecuente, F2 y F3 corresponden a las entradas y salidas del **lado derecho** (dependiendo de la temperatura del fluido que se haga circular a por dichas entradas, pueden ser denominados como **lado caliente** y **lado frío**). En la figura 17 se ilustra el bloque que representa el intercambiador de calor con las respectivas entradas y salidas que se tomaron para la instalación.



F1: entrada/salida de fluido que esta conectada con F4.
F2: entrada/salida de fluido que esta conectada con F3.
F3: entrada/salida de fluido que esta conectada con F2.
F4: entrada/salida de fluido que esta conectada con F1

Figura 17. Representación del ICP para diagramas de flujo de procesos.

2. El BT es el segundo bloque más importante de la instalación ya que fungirá como la fuente de calor para una de las corrientes de los flujos que entraran en el ICP. El BT cuenta con una entrada (F_e) y una salida (F_s). F_s puede ser conectada a cualquiera de las entradas del intercambiador en este caso opto por conducir el fluido hacia F2, por ende, F3 (que correspondería a la salida del flujo que entra por F2) tiene que ser conectado con F_e . De esta manera, es el flujo caliente queda encerrado en un ciclo donde el calor adquirido por el BT será transferido a la segunda corriente dentro del ICP, y dicho calor perdido será recuperado de nuevo cuando el fluido vuelva a pasar a través del BT. El bloque que representa el BT, así como las conexiones formadas con el ICP se puede visualizar en la Figura 18.

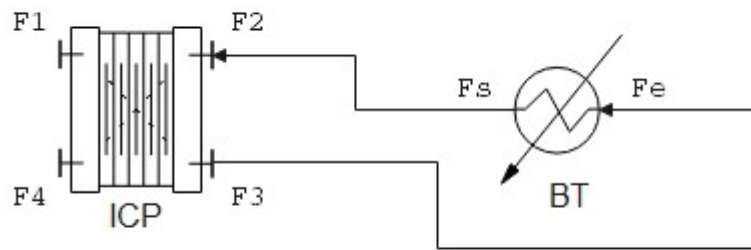


Figura 18. Circulación del Flujo de agua caliente a través del ICP y del BT.

3. El único elemento faltante en la instalación es la fuente de fluido frío a la cual se le será transferido el calor proveniente del fluido que circula por el BT. Debido a que para esto no se cuenta con otro equipo, el fluido frío (agua) se toma de la red del edificio.
4. Debido a que el diseño de los ICP es elaborado para que funcionen principalmente en contraflujo, para que el arreglo de nuestra instalación sea en contraflujo es necesario que el fluido que proviene de la red del edificio sea dirigido a la entrada F4. La salida de este flujo F2 será dirigida a un contenedor donde se esté almacenando el fluido con el calor transferido de la otra corriente (Figura. 19).

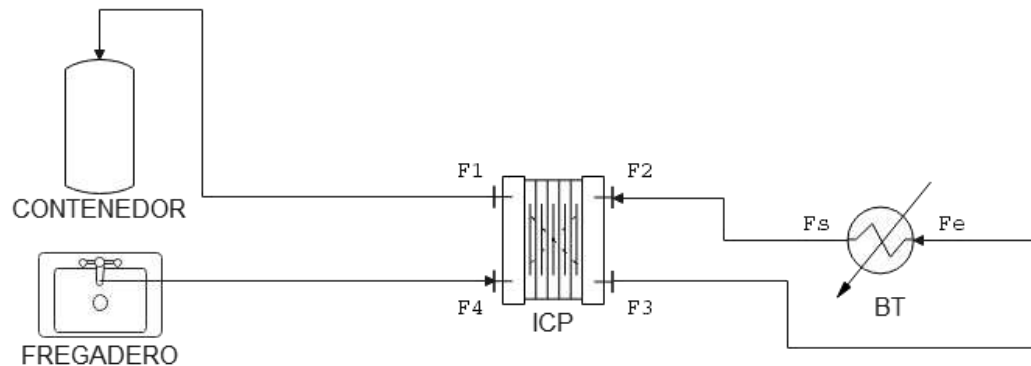


Figura 19. Circulación de los flujos de agua, caliente y fría.

5. Por último, en la instalación deberán de agregarse dispositivos que permitan la medición de las velocidades y temperaturas que llevan dichos flujos cuando entran y salen de ICPE. En la figura 5.4 se pueden visualizar que para la medición de la temperatura fue necesario colocar un termómetro (T1, T2, T3 y T4) en cada entrada y salida del ICPE, así como también fueron colocados rotámetros (R1 y R2) antes de las entradas F4 y F2 un venturímetro (VE) en la salida para la medición de la velocidad de los flujos, así como unas válvulas (V1 y V2) para la regulación de las mismas.

La Figura 20 ilustra el diagrama de flujo de proceso que servirá como base para realizar la instalación y conexión de cada uno de los equipos y componentes que conformaran el prototipo. Así mismo, a partir de la Figura 20 también será elaborado una representación ilustrativa en la cual se muestre más a detalle los componentes, conexiones y demás partes de la instalación real del prototipo.

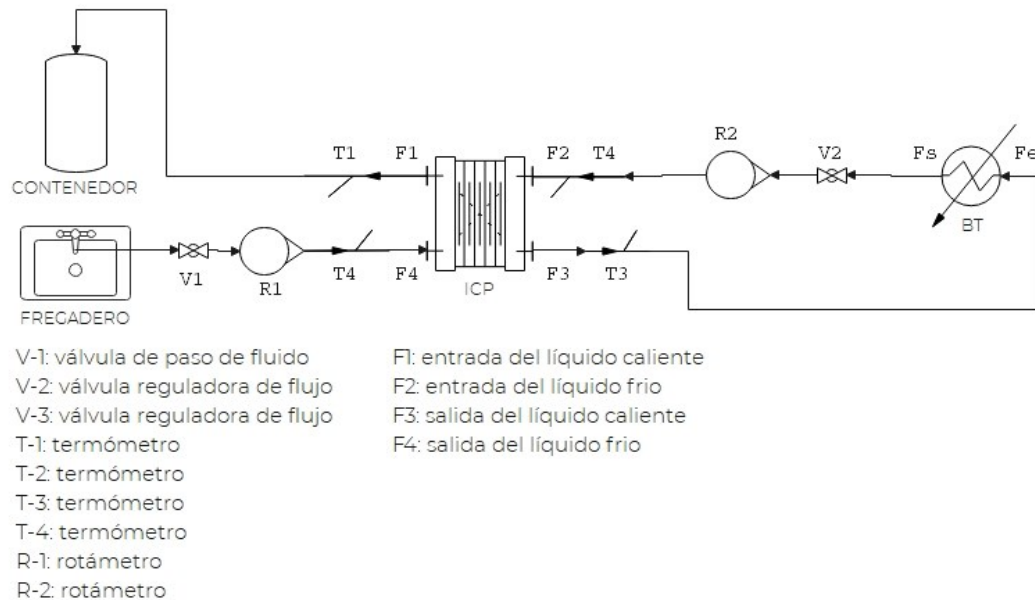


Figura 20. Diagrama de flujo de proceso de la instalación del prototipo.

5.2 Construcción de un rotámetro que permita medir la velocidad del flujo en ambas entradas del ICP.

Para la medición del flujo, es necesario que se instale un flujómetro que permita medir el flujo del agua que entra dentro del ICP y para su elaboración se optó por la construcción de un rotámetro ya que son dispositivos que, una vez calibrados, no necesitan de una fuente de energía adicional para brindar una medición debido a que su principio se basa en aprovechar la fuerza de flotación y la energía cinética de los fluidos.

El ICP tiene 4 entradas machos de acero inoxidable de 1", en cambio, el BT tiene una entrada y una salida de agua de acero inoxidable de 1/2" de inserción de manguera. Debido a la diferencia que existe entre las entradas de los dos equipos, es que se requiere aprovechar el área variable que emplean los rotámetros para que se facilite de una mejor manera las conexiones entre estos dos equipos, por lo

que el rotámetro se comenzará a construir a partir del tubo cónico transparente (Vea la Figura 21 del capítulo 2).

Para el tubo cónico, fue empleado un recipiente de vidrio al cual se le fue retirado el fondo. El diámetro mayor del tubo de vidrio es de 1 ½", su diámetro menor es de ¾" y 7" de altura.



Figura 21. Cuerpo general del rotámetro.

En el interior del tubo de vidrio fue colocado una varilla de acero inoxidable, con una maya de acero en cada uno de los extremos (observe la Figura 22). La varilla de acero inoxidable sirve como estabilizador para el flotador que funge de indicador para el agua que fluye por el tubo de vidrio.

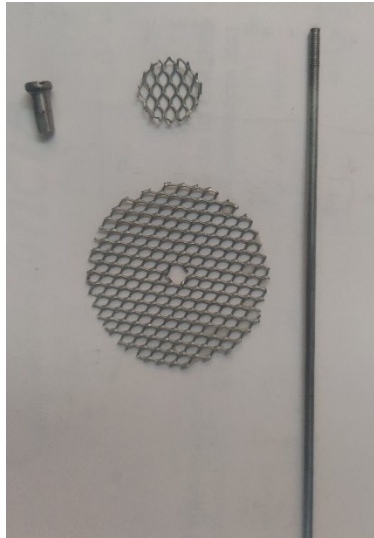


Figura 22. varilla estabilizadora, mayas de acero y sujetador.

La estructura del rotámetro puede verse con más detalle en la Figura 21 en la parte superior del tubo de vidrio se le fue conectada una tuerca unión PVC hidráulica de 1 ½" y en la parte inferior del rotámetro se le fue colocado un codo de ¾" de material CPVC.

5.2.1 Calibración del rotámetro.

Una vez que el rotámetro se instaló en el ICP se procedió a hacer circular agua a través del dispositivo, manipulando la válvula de compuerta se revisó que el flotador funcionara correctamente.

En la calibración de ambos rotámetros se utilizó el procedimiento que se describe a continuación, el cual fue basado en el procedimiento de calibración de rotámetros Cole Palmer que se menciona en el capítulo 2.

1. Con la ayuda de la válvula de compuerta se ajusta el flotador a una determinada altura.
2. Para capturar el caudal que corresponde a la altura que tiene el flotador. Se captura el tiempo que tarda el agua en llenar una probeta graduada de 250ml

a la salida del intercambiador. Con el valor del tiempo y el volumen de la probeta el caudal puede ser calculado.

3. La escala que se escogió para graduar en el rotámetro fue 0, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2 y 3 L/min. Por tanto, el procedimiento de abrir o cerrar la válvula de compuerta, con esto cambiar la altura del flotador y calcular el caudal correspondiente se repitió hasta poder llegar a un valor aproximado a 0.25 L/min que es el primer valor que será graduado en el rotámetro.
4. Debido a que la obtención del caudal en cada nivel de altura en el que se encuentra el flotador es un proceso práctico de es directamente dependiente de la exactitud del usuario que realiza la medición, el valor se calculó 20 veces para cada uno de los niveles de la escala.
5. Con dichos valores y descartando los que contenían errores evidentes de precisión se realizó el cálculo de la desviación estándar para poder tener una referencia de la exactitud de las mediciones.

5.3 Instalación y conexión completa del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor, así como de los instrumentos que permiten la medición de los flujos y temperaturas en las entradas y salidas del ICP.

En las salidas F1 y F3 del ICP al intercambiador se le fue colocado una inserción hembra de 1" de CPVC a la inserción hembra. Posterior a la inserción se le coloca una reducción de 1" a $\frac{3}{4}$ " del mismo material.

Para poder colocar un termopar que nos ayude a medir la temperatura se conecta una T de CPVC de $\frac{3}{4}$ " acompañada de dos tuercas unión de la misma medida y para poder sellar el termopar se inserta un tapón de goma para matraz #4. Por último, se le coloco un adaptador macho de $\frac{3}{4}$ " y seguido una inserción para manguera de $\frac{1}{2}$ ". El armazón puede observarse en la figura 5.7 y el mismo procedimiento se siguió tanto para la salida F1 como la salida F3.

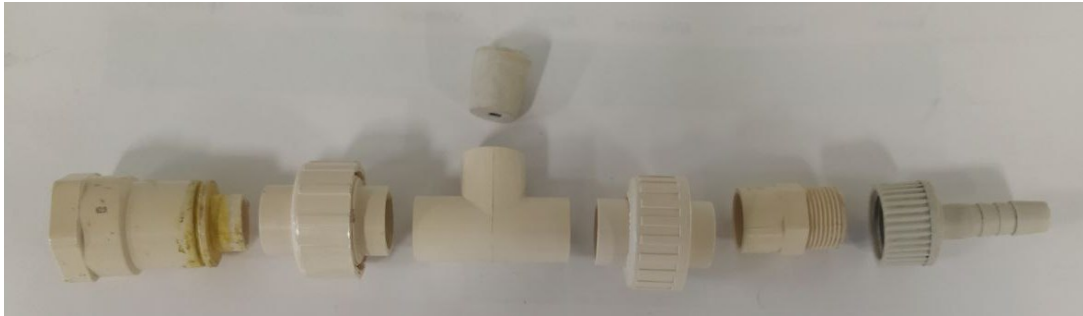


Figura 23. Armazón para salidas F1 y F3.

En la parte inferior de cada rotámetro, seguido al codo, fue colocada una tuerca unión para que se pueda facilitar la extracción del rotámetro y la limpieza del mismo. Con la ayuda de dos adaptadores macho se añadió una válvula de compuerta de latón $\frac{3}{4}$ " seguido de la tuerca unión, dicha válvula realiza la labor de regular la velocidad del flujo de agua que entra en el intercambiador. De último, se añadió otro adaptador macho de $\frac{3}{4}$ " con su respectiva inserción para manguera, véase la Figura 24.

En la parte superior del rotámetro seguido de la tuerca unión de $1\frac{1}{2}$ " se le colocó una reducción de PVC hidráulica de $1\frac{1}{2}$ " a 1". Después, se añadió un codo de 1" del mismo material.



Figura 24. Sección de la parte inferior del rotámetro.

En la sección que servirá para conectar el rotámetro con las entradas F2 y F4, también se adaptaron termómetros colocando una T de hidráulica de PVC de 1" entres dos tuercas unión del mismo material y tamaño para que fuese posible retirarla cuando esta no sea requerida. En la Parte superior de la T, para que fuese posible colocar el tapón de goma, se colocó una reducción de 1" a 1/2". Por último, fue colocado el adaptador hembra de 1' para poder conectarlo a las entradas F2 y F4.

Todos los armazones que fueron conectados en todas las entradas y salidas del ICPE (F1, F2, F3 y F4) terminan en una inserción para manguera de 1/2". En las inserciones que corresponden a la entrada F2 y a la salida F3 fueron conectadas al BMAR por medio de una manguera industrial de 1/2" transparente. Por otro lado, en las inserciones que corresponden a la entrada F4 fue colocada una manguera que conecta con la toma de agua del edificio y en la salida F1 una manguera cuyo destino culmina en el contenedor del agua caliente proveniente del intercambiador.

5.4 Análisis del comportamiento del BT al calentar agua a 40 °C cuando se manipulan los flujos de 0.5, 1, 2 y 3 L/min.

Debido a que el BT es un equipo que, según el manual del fabricante, está diseñado para funcionar a bajas temperaturas y que su eficiencia se ve afectada por la temperatura a la que se encuentra en el agua en su alimentación, se es necesario saber la capacidad que tiene este equipo para realizar dicha tarea.

Primeramente, debe evaluarse la capacidad de mantener la temperatura constante a 40 °C cuando el prototipo es operado a velocidades de flujo de 0.5, 1, 2 y 3 L/min. Para ello, se operó el equipo en varias ocasiones a diferentes flujos capturando las temperaturas de forma continua.

En el caso de las temperaturas, que pueden ser obtenidas en las entradas/salidas F1, F2, F3, y F4, fueron definidas como T1, T2, T3, y T4 respectivamente. En el tanque del BT existe un termopar que registra la temperatura que va adquiriendo el agua, dicha temperatura fue definida como Tb.

Al prototipo se le fueron realizados experimentos los cuales consistían en operar el prototipo completo durante 35 minutos y, durante ese tiempo, se hizo registro de las temperaturas T1, T2, T3 y Tb. La temperatura que se programó en todos los casos en el BT fue 40 °C.

En total se realizaron 4 experimentos cada uno con tres repeticiones: El primero, consto de operar el equipo con ambos flujos de agua (caliente y frio) a 0.5 L/min; el segundo, en operar el equipo con ambos flujos a 1 L/min; el tercero, se operó el equipo con ambos flujos a 2 L/min y; en el último experimento se operó el equipo con 3 L/min.

5.5 Creación de un manual de operación y mantenimiento.

EL manual fue elaborado a partir de los manuales de usuario de los fabricantes de del ICP [20] y del BT [44]. Su contenido se centra exclusivamente en la operación correcta del equipo para fin de evaluar su funcionamiento y en el mantenimiento que se requiere para evitar problemas en los equipos.

Capítulo 6

Resultados

6.1 Representación ilustrativa de los componentes y conexiones del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.

La Figura 25 es una ilustración que contiene los componentes y conexiones del prototipo, la cual fue elaborado con base en la Figura 20 del capítulo 5. La representación ilustrativa del prototipo fue diseñada en un software de edición Wondershare EdrawMax versión 10.5.0. y fue utilizada en la elaboración del manual de operación y mantenimiento de la instalación del prototipo.

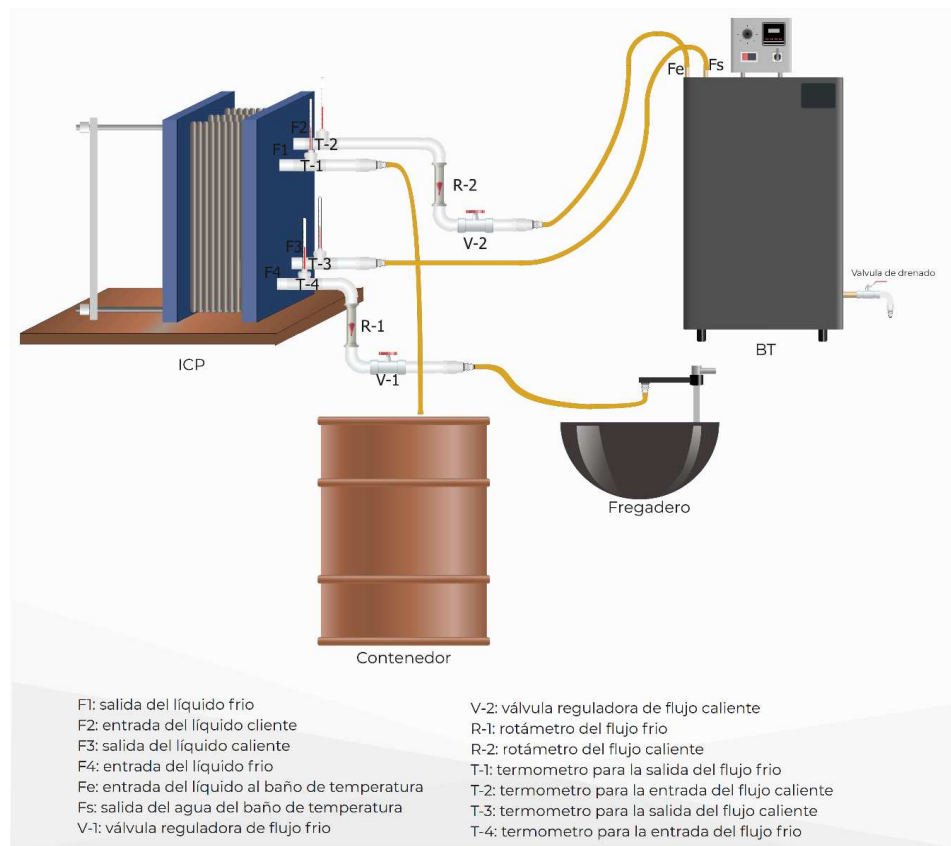


Figura 25. Representación ilustrativa de los componentes y conexiones del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.

6.2 Construcción de un rotámetro.

En la Figura 26 se ilustra el resultado final de la elaboración de un rotámetro cuyo fin es medir el caudal de las corrientes de agua que circulan a través del equipo.



Figura 26. Rotámetro.

Como se puede observar el rotámetro lleva una llave de compuerta de material latón la cual cumple la función de regular la velocidad a la que fluye el agua a través de la tubería. El tubo cónico que fue reutilizado de un envase de vidrio es completamente transparente y se puede visualizar perfectamente el flotador que se encuentra en su interior. El flotador fue construido mediante la unión de capas de PET, su peso aproximado es de 7.56 g. de los cuales 1.2 corresponden a una pequeña capa de acero que se encuentra en su interior.

6.2.1 Calibración de un rotámetro funcional.

En la Figura 27 se puede apreciar una imagen del resultado de la graduación de uno de los rotámetros. Como ya se mencionó en el apartado 5.2.1 la escala que fue

tomada como referencia para la graduación de los rotámetros es: 0, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2 y 3 L/min.

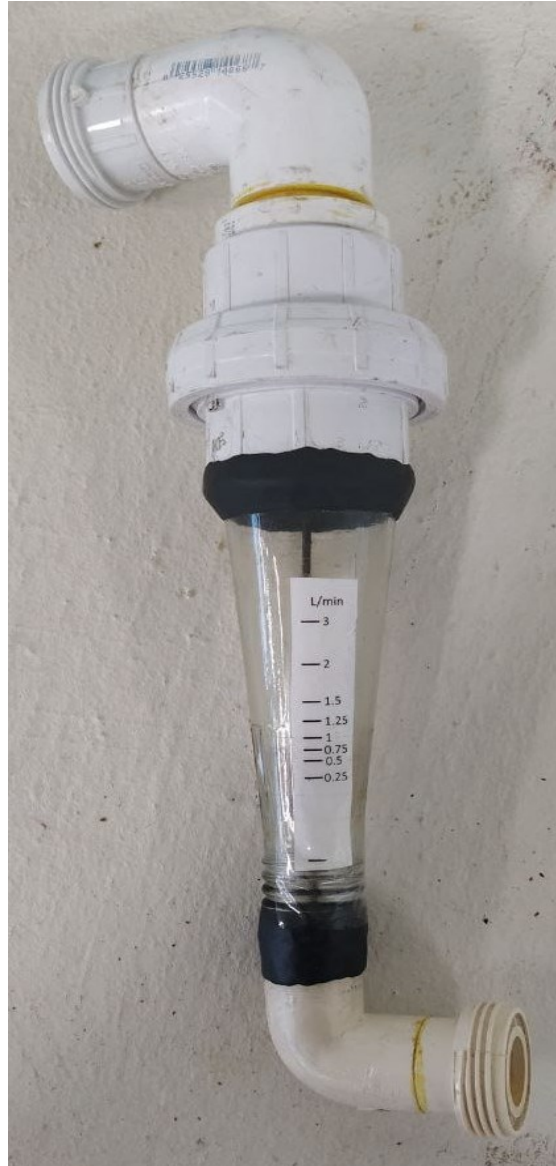


Figura 27. Rotámetro graduado.

En la Tabla 2 se puede apreciar caudales promedio, resultado de las 20 mediciones del rotámetro 1, para cada altura en la que fue graduado el tubo rotámetro. De igual forma, en la Tabla 3 se muestran los caudales promedio correspondientes al rotámetro 2.

Tabla 2. Caudales obtenidos por cada altura del flotador para el rotámetro 1.

Caudal promedio (L/min)	Desviación Estandar (σ)	Altura del flotador (cm)
0.25	0.055	0.37
0.51	0.111	0.82
0.76	0.166	1.20
1.01	0.222	1.50
1.28	0.281	1.97
1.53	0.338	2.70
2.07	0.466	3.74
3.00	0.661	5.14

Tabla 3. Caudales obtenidos por cada altura del flotador para el rotámetro 2.

Caudal promedio (L/min)	Desviación Estandar (σ)	Altura del flotador (cm)
0.25	0.055	0.30
0.50	0.110	0.45
0.76	0.166	0.81
0.99	0.218	1.13
1.24	0.272	1.41
1.50	0.330	1.90
1.97	0.431	2.31
3.03	0.662	3.86

En el Anexo I se encuentran los valores de las 20 mediciones de los caudales para cada una de las alturas en las que fue graduado cada valor de la escala en el rotámetro 1. De la misma forma, en el Anexo II se encuentran los valores correspondientes al rotámetro 2.

6.2 Resultado de la instalación y conexión completa del prototipo.

La Figura 28 es una imagen que muestra el resultado final instalación del prototipo y de las conexiones del ICP y el BT. Durante la primera operación del BT, el agua fluyo a través de las conexiones sin presencia de alguna fuga y los rotámetros son capaces de mantener el flujo constante.



Figura 28. Prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.

6.4 Manual de operación y mantenimiento del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.

La Figura 29 muestra la tabla de contenido del manual de del prototipo, el cual cuenta con los procedimientos para arrancar el equipo, programar el BT a una determinada temperatura, ajustar la velocidad de flujo con ayuda de los rotámetros, el vaciado correcto de los equipos y las actividades correspondientes a los mantenimientos y los cuidados de los equipos.

El contenido completo del manual puede consultarse en el anexo XVI.

Contenido.	
Introducción	1
Objetivos	1
Alcance	1
Descripción general de los equipos.	1
Diseño del equipo.	2
Descripción del modo de operación.	2
Baño María de temperatura constante con recirculación.	3
Especificaciones.	3
Precauciones.	4
Condiciones de empleo.	4
Mantenimiento.	5
Intercambiador de calor de placas.	5
Especificaciones.	5
Componentes.	5
Condiciones de empleo.	5
Mantenimiento.	6
Rotámetros.	6
Válvula de compuerta.	7
Tapones de goma con orificio.	7
Termómetros.	7
Mangueras.	8
Tubería.	9
Adaptadores Macho.	10
Adaptadores Hembra.	10
Codos.	11
Adaptadores de inserción hembra.	11
Tuercas unión.	12
Reducciones.	12
Abrazaderas de acero.	13

Figura 29. Tabla de contenido del manual de usuario.

Capítulo 7

Análisis de Resultados

7.1 Calibración de los rotámetros.

En los valores de caudal obtenidos durante las 20 mediciones de cada flujo en ambos rotámetros (observe las tablas 2 y 3 del apartado 6.2.1) se realizó un ajuste lineal en contra de la altura del flotador. En la figura 30 se puede visualizar que el ajuste lineal nos brinda un coeficiente de determinación de 0.99265, debido a que este valor no está muy alejado de la unidad, entonces podemos definir que la ascendencia del flotador a través del rotámetro 1 sigue un comportamiento lineal con respecto al caudal, por lo tanto se podría utilizar la ecuación $y = 0.04421 + 0.57994x$, en donde "y" representa el caudal en litros por cada minuto y "x" la altura en centímetros para la graduación de rotámetros con las mismas dimensiones y con un flotador de peso específico igual al utilizado en estas pruebas. Sin embargo, obsérvese también que el error se hace notar en los valores de flujo más grandes, por tanto, se recomienda utilizar la ecuación anterior solo para velocidades de flujo que estén dentro del rango 0.25-3 L/min.

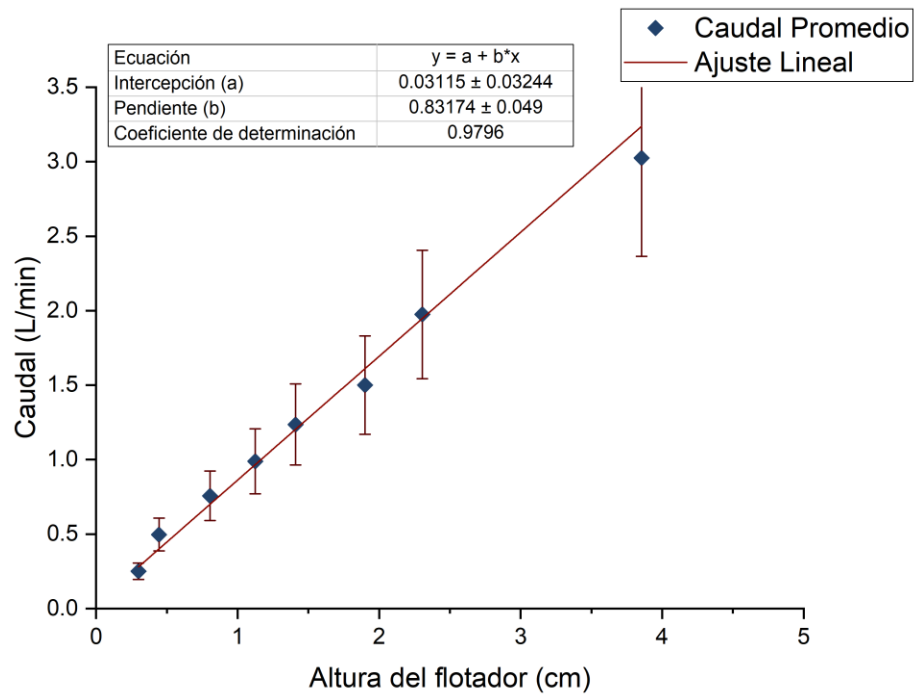


Figura 30. Ajuste Lineal para los caudales del rotámetro 1.

En la figura 31 se puede observar que el valor del coeficiente de determinación del rotámetro 2 ($R^2=0.9796$) no es muy diferente del que se obtuvo para el rotámetro 1 por lo tanto la ecuación $y = 0.03115 + 0.83174x$ también puede ser utilizada para la graduación de un rotámetro con las mismas dimensiones del rotámetro 2.

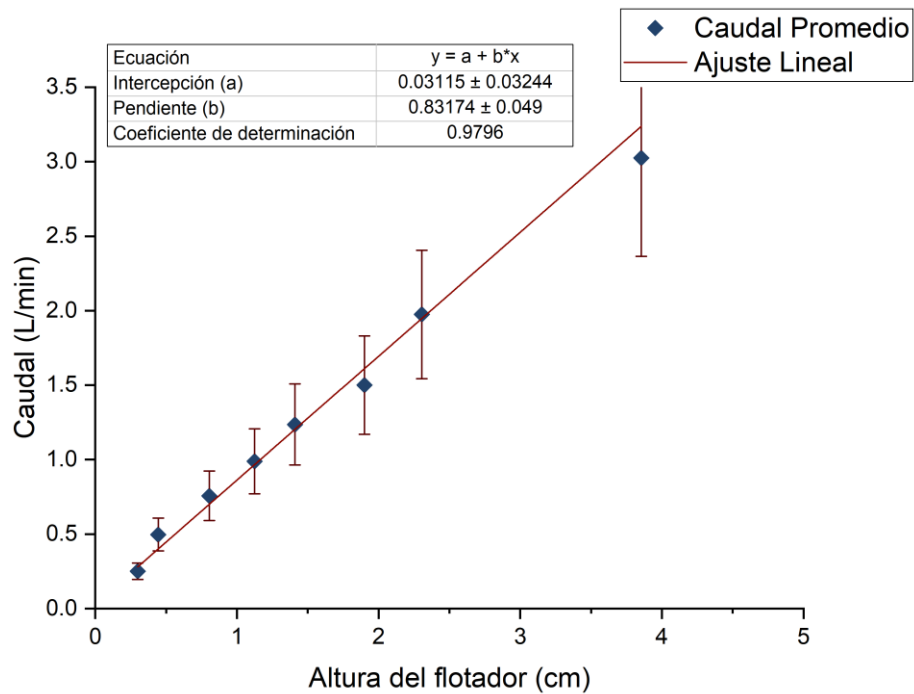


Figura 31. Ajuste lineal para los caudales del rotámetro 2.

7.2 Análisis de la capacidad del BT para operar flujos de 0.5, 1, 2 y 3 L/min a una temperatura de 40 °C.

Fue realizado un análisis de la variación de la temperatura del agua, a los diferentes flujos ya mencionados, dentro del depósito del BT dando como resultado el gráfico de la figura 32, en el cual, se puede observar que para la temperatura de 40 °C el flujo deja de ser un factor que influya en el buen funcionamiento del baño termostático, ya que tanto el flujo de 1 y 0.5 L/min resultan estadísticamente iguales.

T1: Variación de la Temperatura del agua dentro del deposito del BT

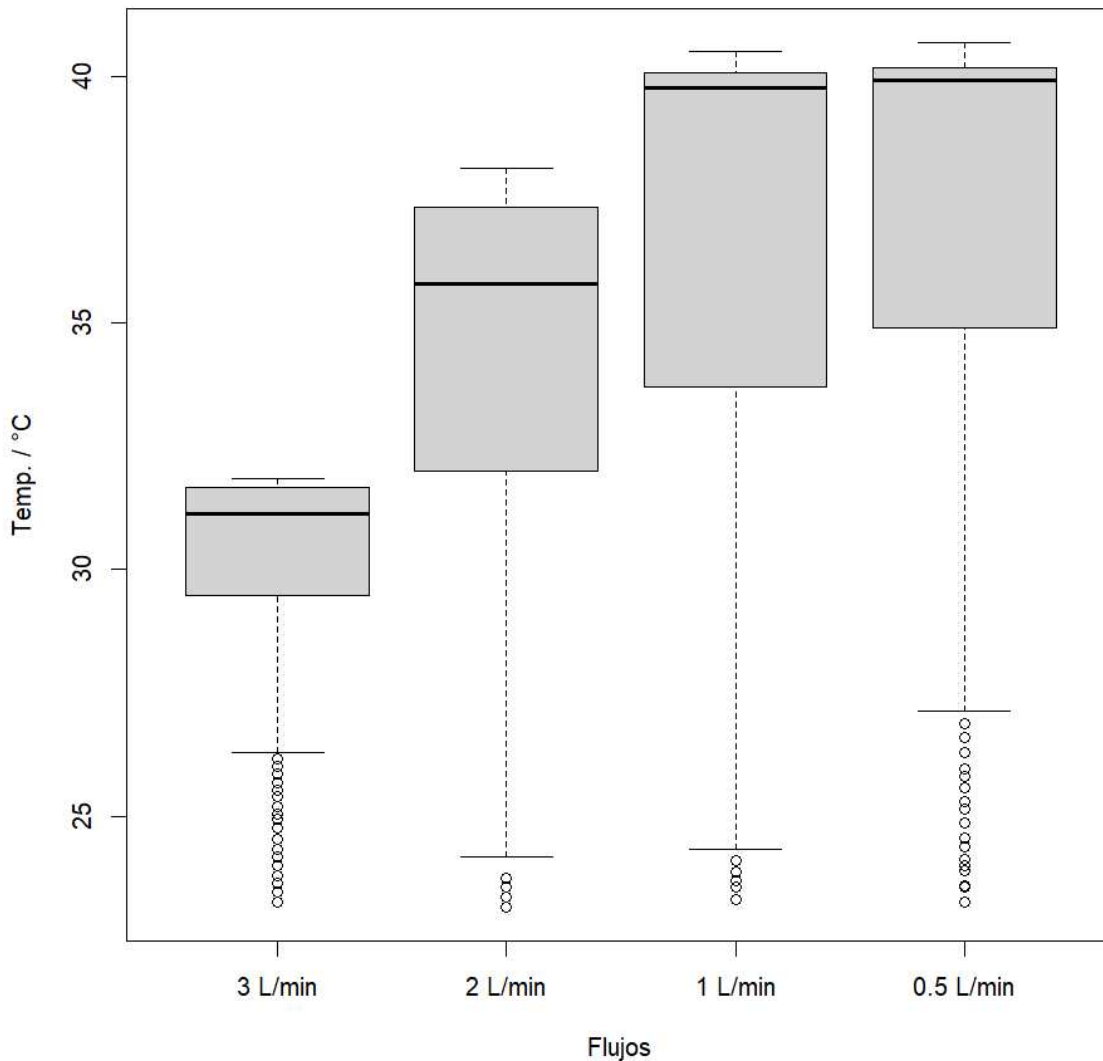


Figura 32. Variación de la temperatura dentro del baño termostático a través del tiempo a distintos flujos.

De la misma manera, se realizó el mismo análisis para las temperaturas del agua en F2. De esta manera se esperaba que el comportamiento sea similar que el observado en el grafico 32 pero con la diferencia de algunas perdidas de calor causadas por el trayecto que recorre el flujo a través de las tuberías, sin embargo, en la figura 33 se puede observar que la media de los datos ronda los 36 y 35 °C

para los flujos de 1 y 0.5 L/min respectivamente. En cambio, en el grafico 32 las medias de ambos rondan por los 39-40 °C.

En el grafico 33 la diferencia de medias, con respecto al grafico 32, solo parece hacerse notoria en los 0.5 L/min ya que en flujos mayores a 1 L/min los bloques coinciden estrechamente con los bloques del grafico 32.

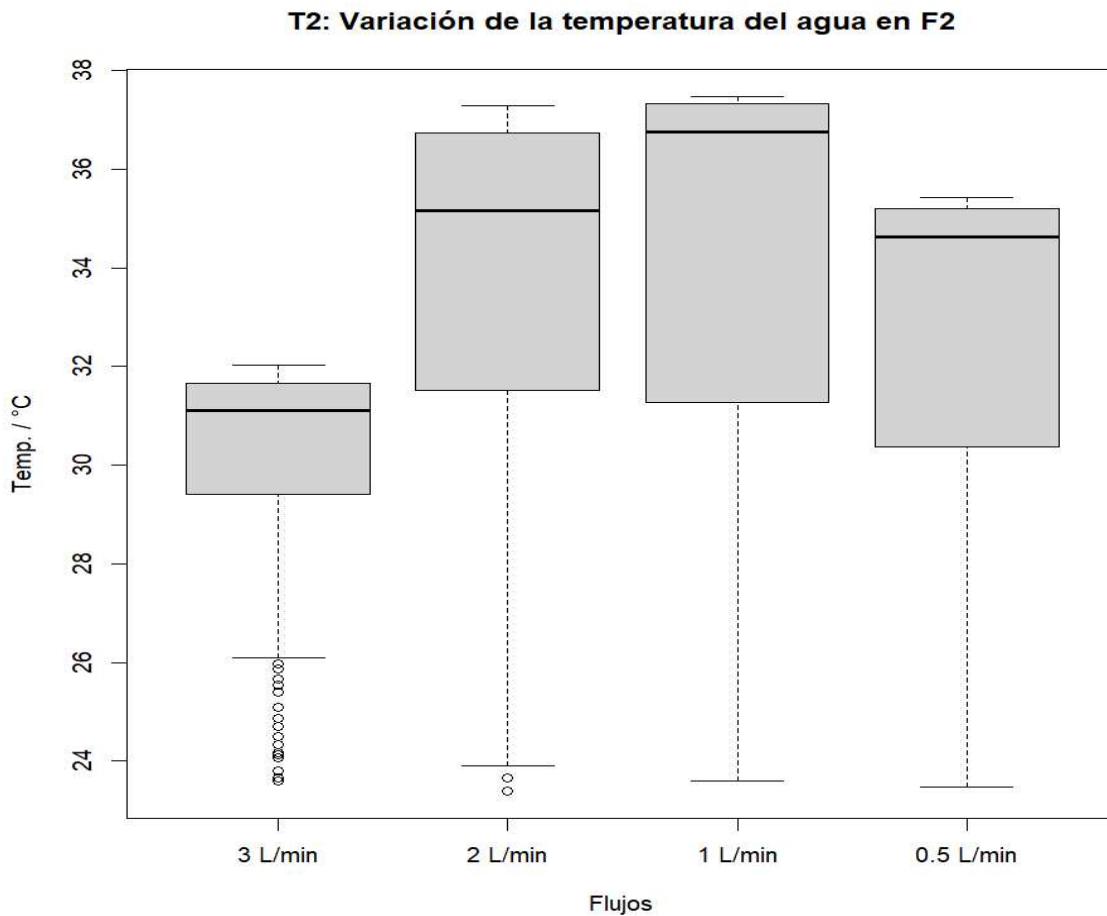


Figura 33. Variación de la temperatura en la entrada del intercambiador de calor a través del tiempo a distintos flujos.

A manera de observar si el comportamiento de la transferencia de calor a través de las dos corrientes de los flujos, y que las temperaturas que se arrojan cuando se opera el equipo a un determinado flujo (T3) sean coherentes con respecto a los

demás y, sin que haya diferencias demasiado significativas se realizó un tercer análisis para las temperaturas de la segunda corriente de agua (lado frío) cuando sale del intercambiador de calor con el calor extraído.

En la Figura 34, se puede observar que cuando se opera flujos de 3 y 1 L/min. Las temperaturas obtenidas de la corriente de agua fría al salir del intercambiador son estadísticamente similares, no obstante, de igual forma pareciera que también existe una similitud cuando el equipo es operado con los flujos de 2 y 0.5 L/min.

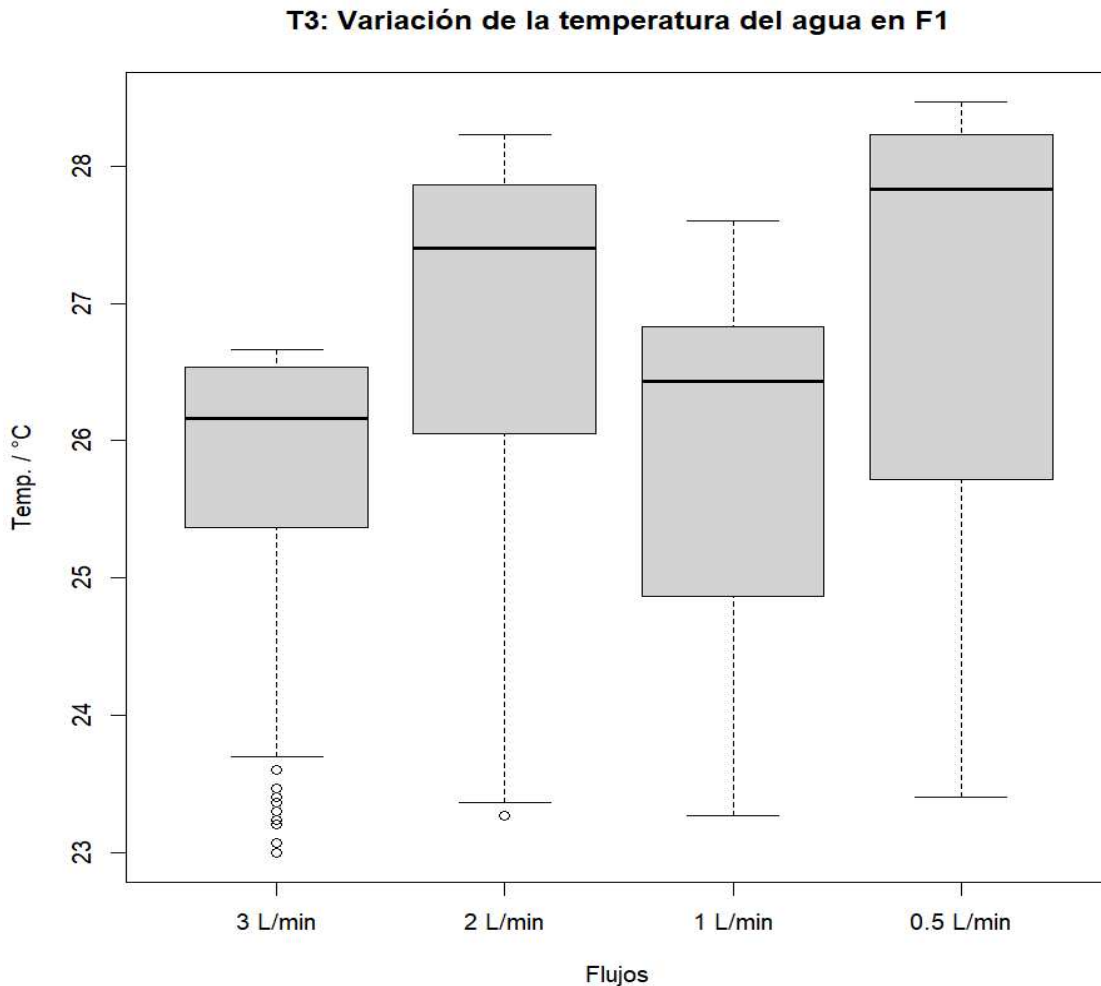


Figura 34. Variación de las temperaturas a la salida del intercambiador de calor a distintos flujos a través del tiempo.

Conforme a los análisis que se ilustran en la figura 33 y 34 podemos definir que además del caudal existe otro fenómeno que está afectando el proceso de la transferencia de calor, estos resultados pueden deberse a el área de transferencia de calor del intercambiador y el área de sección transversal de las tuberías ya que en flujos menores a 1 L/min, y debido a que las tuberías no son transparentes, no se tiene la seguridad de que el área de transferencia de calor se igual que en flujos superiores cuando estos entran por las entradas superiores del intercambiador. Dicho lo anterior, es muy probable que para que el equipo pueda sin que el área de transferencia de calor del intercambiador y el área de sección transversal de la tubería en las entradas superiores se tengan que hacer modificaciones en la instalación del equipo.

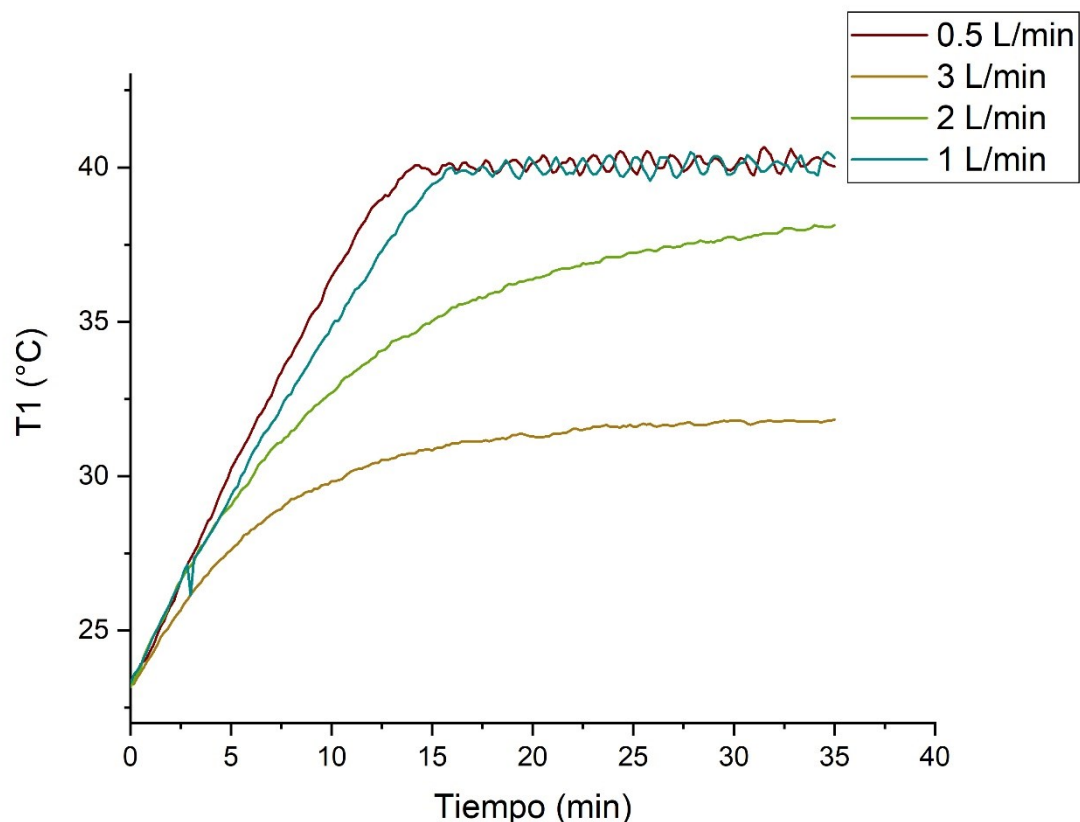


Figura 35. Temperatura del interior del baño termostático a distintos flujos.

En las Figuras 33, 34 y 35 se visualiza un perfil de las temperaturas en contra de los flujos en los que fue operado el prototipo. En cambio, los gráficos de las figuras 36, 37 y 38 muestran un perfil de las temperaturas a través del tiempo.

Las comparaciones entre los cambios de temperatura del agua dentro del depósito del BT a través del tiempo a distintos flujos se pueden observar en el gráfico de la figura 35. En dicho gráfico se puede observar que a partir de 1 L/min el baño termostático alcanza la temperatura programa (40 °C) dentro de los primeros 5 minutos. En flujos mayores a 1 L/min, el tiempo que tarda el equipo en alcanzar la temperatura programada crece de manera exponencial, lo que hace imposible que cuando se opera a 2 y 3 L/min el quipo alcance la temperatura programada dentro los primeros 35 minutos.

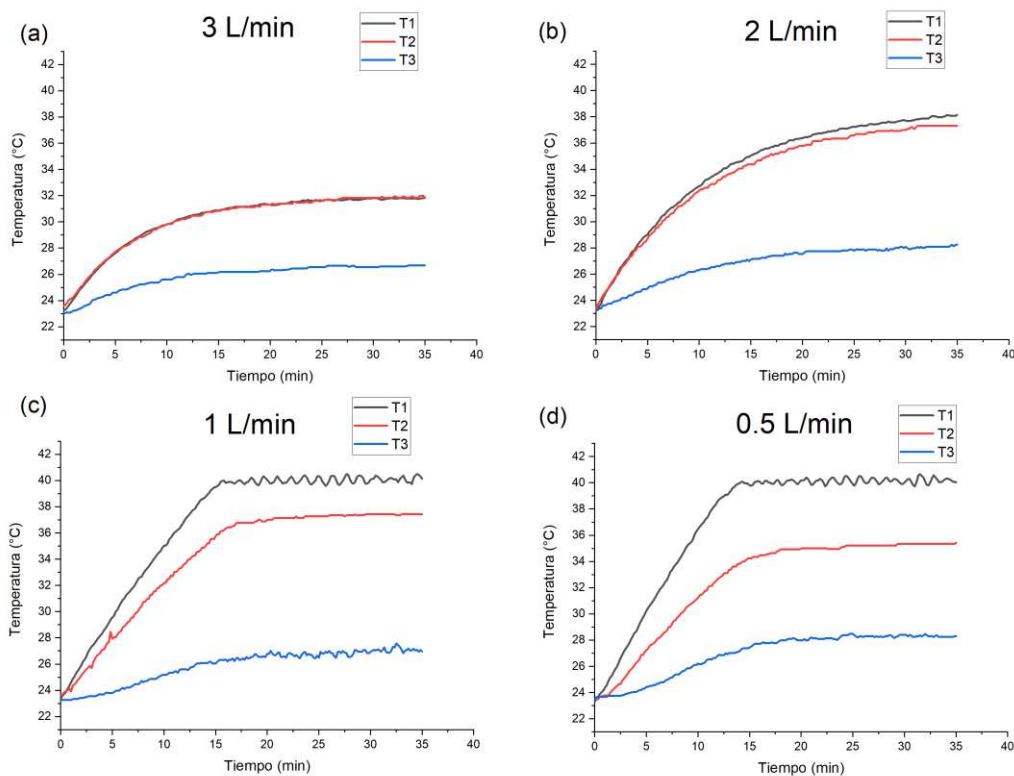


Figura 36. Mediciones de temperaturas (T1, T2 y T3) a flujo constante para a) 0.5 L/min, b) 1 L/min, c) 2 L/min y d) 3 L/min a través del tiempo con un BT programado a 40 °C.

En cuanto a la temperatura en F2 el gráfico de la figura 36 a muestra que no existe diferencia significativa entre las temperaturas T1 y T2 cuando el equipo opera a 3 L/min, sin embargo, esto indica que la temperatura del agua que está entrando en F2 no llega a los 40 °C, quedándose alrededor de los 32 °C durante los primeros 35 minutos. Caso similar es el que sucede cuando se trata de 2 L/min, llegando a alcanzar temperaturas alrededor de los 37 grados para T2 (véase la Figura 36. b). Como ya se mencionó, las mediciones de T1 que correspondientes a los flujos constantes de 1 y 0.5 L/min rondaron los 40 °C, sin embargo, los datos que obtuvieron para T2 para estas mismas velocidades de flujo no rondaron dicha temperatura, por el contrario, el agua que fluía a través de F2, después de los primeros 15 minutos, se mantuvo en temperaturas de 37 y 35 °C para caudales de 1 y 0.5 L/min respectivamente. Los gráficos c y d de la figura 36 refleja una diferencia de temperatura entre T1 y T2 de 3 °C para un flujo constante de 1 L/min y 5 °C para 0.5 L/min.

Por último, en los cuatro gráficos de la figura 36, T3 muestra un comportamiento de crecimiento similar para las cuatro velocidades de flujo (0.5, 1, 2 y 3 L/min), por lo que, a través del tiempo, el fluido es transferido de un fluido a otro de manera similar en todos los flujos. Sin embargo, en cuanto a mayor o menor temperaturas alcanzadas, si existe diferencia para cada uno de los flujos, las cuales ya fueron discutidas anteriormente en el gráfico de caja de la figura 34.

Capítulo 8

Conclusiones y trabajo a futuro

Durante el proyecto se logró realizar con éxito, la instalación completa del prototipo, así como el diagrama de flujo de ambos equipos. Con ello, se llevó a cabo la calibración de los rotámetros y la instalación de termómetros para la medición de la temperatura. También, se logró operar el equipo programando temperaturas de 40 °C a distintos flujos para determinar la capacidad del BT a funcionar a esa temperatura. De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que para flujos mayores a 1 L/min el equipo no logra alcanzar los 40 °C de temperatura. Sin embargo, para flujos menores a 1 L/min los resultados mostraban una diferencia más significativa en la entrada F2 con el interior del baño maría, debido a que a medida que el flujo baja por velocidades menores a 1 L/min las temperaturas en F2 disminuyen, en cambio, en el interior del baño termostático no parece haber problema para alcanzar la temperatura programada. La medida del tubo que conduce el agua del rotámetro a la entrada F2 es de 1" por lo que se plantea que cuando los caudales se encuentran por debajo de 1 L/min la tubería no transporta un volumen suficiente para una correcta de la temperatura. De igual forma, existe la incertidumbre si dentro del intercambiador de calor, el agua, tanto el flujo caliente como el frío, realmente realizan contacto con toda el área superficial de las placas dentro del intercambiador.

Las pruebas al intercambiador de calor se realizaron operando en contraflujo, si se llegase a operar el equipo conectando ambas entradas de flujo (caliente y frío) en las entradas F4 y F3, para que de esta manera el equipo sea operado en flujo paralelo, y sea corregido el problema de la medición de la temperatura en las entradas cuando se opera con los flujos más pequeños.

Como trabajo a futuro, se pretende realizar las pruebas cuando el equipo es operado en flujo paralelo y confirmar si persiste el error en la medición de las temperaturas. Para mejorar la exactitud en la medición del flujo, además, adaptar un medidor de

flujo Venturi, de esta manera hacer la comparación entre dos modelos de medición de flujo y tener una mayor certeza en la exactitud de los caudales. Posterior a eso también existe la instalación de un segundo baño termostático, de esta manera ambas corrientes de flujos (frio y caliente) tendrán un ciclo de recirculación.

Referencias bibliográficas

- [1] O. A. Jaramillo, "INTERCAMBIADORES DE CALOR", p. 34, nov. 2007.
- [2] M. J. Moran, *Fundamentos de termodinámica técnica*. Reverte, 2018.
- [3] J. C. Labat, "GRADUADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES", p. 73, may 2018.
- [4] D. S. Pastor, "Diseño de un banco de pruebas para ensayos de intercambiadores de calor", p. 78, sep. 2021.
- [5] F. F. Ortiz Angulo y L. M. Tello Muñoz, "Repotenciación de sistema de aire acondicionado automotriz mediante la implementación de intercambiador de calor IHX digitalizando los parámetros del banco de pruebas del laboratorio de la carrera de Ingeniería Automotriz.", jul. 2017, Consultado: el 15 de abril de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7668>
- [6] V. Vera y A. Salim, "Modelado, simulación numérica y optimización de un intercambiador de calor", p. 186, mar. 2022.
- [7] S. García Palmeiro, "Diseño ingenieril y mecánico de intercambiadores de calor en planta de producción de potencia ORC", 2018, Consultado: el 24 de abril de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/21919>
- [8] A. Aranda, "CALDERAS", Consultado: el 4 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.academia.edu/17221204/CALDERAS>
- [9] G. V. Edward, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PRECALENTADOR DE LODOS PAMA Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DE HARINA DE PESCADO EN UNA EMPRESA PESQUERA EN PUERTO MALABRIGO", p. 70, 2020.
- [10] E. Espinoza Corrales, "QUE ES UN HORNO", *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/390942860/QUE-ES-UN-HORNO> (consultado el 5 de septiembre de 2022).
- [11] J. P. Uquillas Santacruz, "Selección del material idóneo para mejorar la eficiencia de transferencia de calor en un radiador de vehículo Nissan Sentra, mediante simulación CFD", feb. 2021, Consultado: el 5 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/4078>
- [12] F. Toapanta, J. Cortéz, W. Quitiaquez, y W. Orellana, "Estudio Numérico Mediante CFD del Proceso de Enfriamiento con Intercambiadores de Calor en Sistemas Computacionales", *Rev. Téc. Energ.*, vol. 17, núm. 2, Art. núm. 2, ene. 2021, doi: 10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.422.

Referencias bibliográficas.

- [13] J. Hortelano Capetillo, A. Gallegos-Muñoz, J. Belman-Flores, y J. A. Alfaro-Ayala, “Análisis teórico y experimental de un condensador para un sistema de refrigeración”, nov. 2014.
- [14] J. C. Labat, “GRADUADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES”, p. 73, may 2018.
- [15] Yunus A Çengel y Michael A. Boles, *TERMODINÁMICA*, 8a ed. México, D.F.: MCGRAW-HILL, 2015.
- [16] C. J. Geankoplis, *Procesos de transporte y principios de procesos de separación: (incluye operaciones unitarias)*. Patria, 2006.
- [17] R. C. Martínez, “Guía para seleccionar intercambiadores de calor”, *Tlatemoani Rev. Académica Investig.*, núm. 6, p. 6, 2011.
- [18] J. G. A. Marín y D. A. H. Zuluaga, “Intercambiadores de calor de tubo en espiral”, *Rev. UIS Ing.*, vol. 11, núm. 2, pp. 203–213, 2012.
- [19] S. A. Díaz Guevara y G. E. Vega Patiño, “Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de calor”, 2017, Consultado: el 11 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2720>
- [20] “Intercambiadores de Placa tipo Sanitario”, *Alfa de Occidente*. <https://alfadeoccidente.mx/tienda/intercambiadores-de-calor-a-placas/intercambiadores-de-placa-tipo-sanitario/> (consultado el 16 de abril de 2023).
- [21] M. J. L., “El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje”. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21377> (consultado el 11 de octubre de 2022).
- [22] J. A. Fernández Benítez y C. Corrochano Sánchez, *Fundamentos de transmisión de calor*. Dextra Editorial, 2014. Consultado: el 11 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://elibro.net/es/lc/itsur/titulos/43834?as_all=Transferencia__de__calor&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
- [23] R. Alvarado García, *Principios de termodinámica*. Instituto Politécnico Nacional, 2010. Consultado: el 11 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://elibro.net/es/lc/itsur/titulos/72185?as_all=TERMODIN%C3%81MICA&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
- [24] J. A. J. Bernal y C. del C. G. Torres, *Termodinámica*. Grupo Editorial Patria, 2015. Consultado: el 11 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en:

Referencias bibliográficas.

- https://elibro.net/es/lc/itsur/titulos/39466?as_all=TERMODIN%C3%81MICA&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
- [25] A. Huerta y L. María, “¿Qué es la entalpía?”, jun. 2020, Consultado: el 13 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/144734>
- [26] F. M. Caibe Yanzapanta, “Diseño y construcción de un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales (rotámetro)”, bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013. Consultado: el 17 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/2513>
- [27] A. Almaraz Gomez, “ANALISIS DE FLUJO EN UN SENSOR DE PLACA DE ORIFICIO”, Thesis, 2013. Consultado: el 17 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/10754>
- [28] R. A. Ortega Haro, “Diseño construcción y operación de un banco hidráulico y venturímetro para pruebas hidráulicas.”, 2013, Consultado: el 17 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1123>
- [29] “CAUDALÍMETROS Y TUBO DE PITOT”. Consultado: el 19 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/GPL_All_Spanish_07_08.pdf#page=7
- [30] H. Y. Cabrera, “Medidores de flujo para bancos de pruebas de laboratorios”, feb. 2021, Consultado: el 19 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/32237>
- [31] V. M. Gallardo Lopez, “ACTUALIZACION DE LA INFRAESTRUCTURA PARA MEDICION MASICA DE LA REFINERIA ‘ING. ANTONIO DOVALI JAIME’”, jun. 2012, Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.digital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/2806>
- [32] C. G. Campoverde Cueva y J. A. Gualoto Cachago, “Desarrollo de un sistema de medición de caudal energéticamente independiente con transmisión de datos en la comunidad de Paquiestancia.”, bachelorThesis, 2018. Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16463>

- [33] “5.1.2 Medidor Ultrasónico Tiempo de Tránsito | PDF | Ultrasonido | Medición”, *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/453164174/5-1-2-Medidor-ultrasonico-tiempo-de-transito> (consultado el 20 de octubre de 2022).
- [34] “Diseño y construcción de un sistema digital autónomo y portátil para la medición de la velocidad lineal de un fluido”. Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://web.archive.org/web/20180505060921id_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4197/1/alanya_ps.pdf
- [35] N. Vallès Fernández, “Estudio de la utilizacización de caudalímetros certificados para el custody transfer en metaneros”, *Estudio de la utilizacización de caudalímetros certificados para el CTS en metaneros*, sep. 2014, Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23352>
- [36] E. V. López Cushicagua, “Estudio comparativo entre medidores de desplazamiento positivo de la estación N°2 ‘Lumbaqui’ y medidores de tipo coriolis de la estación ‘Sansahuari’, en sistemas de medición de hidrocarburos”, bachelorThesis, Quito: UCE, 2018. Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16266>
- [37] A. García-Berrocal Sánchez, M. Balbás Antón, y C. Montalvo Martín, “Corrección por temperatura de los patrones volumétricos de desplazamiento positivo en la metrología de los hidrocarburos”, en *Anales de Ingeniería Mecánica*, Universitat Jaume I de Castellón (España): E.T.S.I. Minas (UPM), nov. 2012, pp. 138–138. Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.xixcnim.uji.es/CDActas/Documentos/ComunicacionesOrales/11-05.pdf>
- [38] J. Marin, “MECÁNICA DE FLUIDOS Tema3. Medida de caudales”, Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/18449837/MEC%C3%81NICA_DE_FLUIDOS_Tema3_Medida_de_caudales
- [39] A. H. Franco, “Teoria-Rotámetro”, Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/10605136/Teoria_Rotametro
- [40] L. C. Amador, “Estudio fisicoquimico del comportamiento en densidad, tension superficial y espumacion de soluciones acuosas con las alcanolaminas 1-amino-2-propanol y 2-piperidinaetanol”, el 23 de agosto de 2008. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/camacho_a_/ (consultado el 20 de octubre de 2022).

Referencias bibliográficas.

- [41] A. Gallego, “Baño Termostático”, *Scribd*.
<https://es.scribd.com/document/495007972/BANO-TERMOSTATICO>
(consultado el 26 de febrero de 2023).
- [42] J. T. Molina Paredes y M. J. Guayasamín Quishpe, “Construcción de un baño maría para pruebas de tratamientos térmicos a nivel de laboratorio”, *bachelorThesis*, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, 2022. Consultado: el 20 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8678>
- [43] “Baño de María para Laboratorio”.
<https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/bano-maria-laboratorio.html>
(consultado el 20 de octubre de 2022).
- [44] Manual de operación, “A20300 Baño María con circulación forzada de agua, para baja temperatura, con control electrónico digital.” Scorpion Scientific, el 20 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://drive.google.com/drive/folders/1QM1eRMQRu6qu1rxckJ72xjwBoYHeWU2o?usp=sharing>

Anexos

Anexo I. Tiempos y caudales obtenidos durante las mediciones para la graduación del rotámetro 1.

Medición 1		Medición 2		Medición 3		Medición 4	
tiempo (s)	Caudal (L/min)	tiempo 2 (s)	Caudal 2 (L/min)	tiempo 3 (s)	Caudal 3 (L/min)	tiempo 4 (s)	Caudal 4 (L/min)
59.00	0.25	60.38	0.25	56.60	0.27	58.69	0.26
30.15	0.50	30.00	0.50	29.56	0.51	29.34	0.51
19.41	0.77	19.59	0.77	19.25	0.78	19.59	0.77
14.56	1.03	15.25	0.98	14.60	1.03	14.06	1.07
11.53	1.30	11.40	1.32	12.00	1.25	11.47	1.31
10.78	1.39	9.78	1.53	10.09	1.49	9.78	1.53
7.00	2.14	6.88	2.18	6.60	2.27	6.88	2.18
5.13	2.92	5.22	2.87	4.91	3.05	5.25	2.86
Medición 5		Medición 6		Medición 7		Medición 8	
tiempo 5 (s)	Caudal 5 (L/min)	tiempo 6 (s)	Caudal 6 (L/min)	tiempo 7 (s)	Caudal 7 (L/min)	tiempo 8 (s)	Caudal 8 (L/min)
59.84	0.25	60.53	0.25	57.56	0.26	58.38	0.26
29.78	0.50	29.28	0.51	29.15	0.51	29.38	0.51
19.63	0.76	20.25	0.74	19.53	0.77	20.34	0.74
14.78	1.01	15.37	0.98	15.43	0.97	14.38	1.04
12.00	1.25	11.63	1.29	11.78	1.27	11.35	1.32
10.09	1.49	9.32	1.61	9.34	1.61	9.60	1.56
6.72	2.23	7.53	1.99	6.94	2.16	6.91	2.17
4.82	3.11	5.16	2.91	4.94	3.04	5.19	2.89
Medición 9		Medición 10		Medición 11		Medición 12	
tiempo 9 (s)	Caudal 9 (L/min)	tiempo 10 (s)	Caudal 10 (L/min)	tiempo 11 (s)	Caudal 11 (L/min)	tiempo 12 (s)	Caudal 12 (L/min)
59.50	0.25	60.31	0.25	58.97	0.25	60.72	0.25
31.35	0.48	29.91	0.50	29.13	0.51	29.59	0.51
19.44	0.77	19.87	0.75	19.31	0.78	19.38	0.77
14.66	1.02	14.75	1.02	15.28	0.98	15.56	0.96
11.59	1.29	11.88	1.26	11.65	1.29	11.94	1.26
9.90	1.52	9.44	1.59	9.35	1.60	9.85	1.52
6.75	2.22	6.97	2.15	7.57	1.98	7.50	2.00
4.91	3.05	5.03	2.98	4.94	3.04	4.84	3.10
Medición 13		Medición 14		Medición 15		Medición 16	
tiempo 13 (s)	Caudal 13 (L/min)	tiempo 14 (s)	Caudal 14 (L/min)	tiempo 15 (s)	Caudal 15 (L/min)	tiempo 16 (s)	Caudal 16 (L/min)
61.03	0.25	59.10	0.25	59.82	0.25	60.44	0.25
30.41	0.49	29.06	0.52	29.56	0.51	30.37	0.49
20.19	0.74	20.59	0.73	19.28	0.78	19.75	0.76
14.35	1.05	14.84	1.01	15.22	0.99	15.40	0.97
11.47	1.31	11.81	1.27	11.65	1.29	11.50	1.30
10.22	1.47	9.75	1.54	9.65	1.55	9.88	1.52
7.81	1.92	7.78	1.93	7.75	1.94	7.63	1.97
5.16	2.91	4.88	3.07	5.29	2.84	4.81	3.12
Medición 17		Medición 18		Medición 19		Medición 20	
tiempo 17 (s)	Caudal 17 (L/min)	tiempo 18 (s)	Caudal 18 (L/min)	tiempo 19 (s)	Caudal 19 (L/min)	tiempo 20 (s)	Caudal 20 (L/min)
58.87	0.25	59.37	0.25	60.38	0.25	60.81	0.25
29.07	0.52	29.71	0.50	30.00	0.50	29.00	0.52
20.03	0.75	20.41	0.73	20.09	0.75	19.88	0.75
14.66	1.02	14.47	1.04	14.62	1.03	15.03	1.00
12.09	1.24	11.60	1.29	11.91	1.26	11.53	1.30
10.25	1.46	9.59	1.56	9.88	1.52	10.28	1.46
7.31	2.05	7.78	1.93	7.59	1.98	7.57	1.98
5.00	3.00	4.78	3.14	5.06	2.96	4.81	3.12

Anexo II. Tiempos y caudales obtenidos durante las mediciones para la graduación del rotámetro 2.

Medición 1		Medición 2		Medición 3		Medición 4	
tiempo (s)	Caudal (L/min)	tiempo 2 (s)	Caudal 2 (L/min)	tiempo 3 (s)	Caudal 3 (L/min)	tiempo 4 (s)	Caudal 4 (L/min)
60.22	0.25	59.25	0.25	59.65	0.25	57.56	0.26
28.06	0.53	30.68	0.49	30.94	0.48	30.57	0.49
19.41	0.77	19.53	0.77	19.19	0.78	20.38	0.74
15.66	0.96	15.93	0.94	14.88	1.01	15.03	1.00
12.07	1.24	11.94	1.26	11.44	1.31	12.60	1.19
10.03	1.50	10.47	1.43	10.75	1.40	10.12	1.48
7.68	1.95	7.65	1.96	7.69	1.95	7.57	1.98
5.00	3.00	4.94	3.04	4.94	3.04	4.91	3.05
Medición 5		Medición 6		Medición 7		Medición 8	
tiempo 5 (s)	Caudal 5 (L/min)	tiempo 6 (s)	Caudal 6 (L/min)	tiempo 7 (s)	Caudal 7 (L/min)	tiempo 8 (s)	Caudal 8 (L/min)
58.38	0.26	59.54	0.25	60.12	0.25	58.25	0.26
31.94	0.47	31.56	0.48	30.56	0.49	30.41	0.49
20.56	0.73	20.18	0.74	20.22	0.74	19.12	0.78
15.62	0.96	14.93	1.00	15.19	0.99	15.50	0.97
12.34	1.22	12.63	1.19	12.47	1.20	12.06	1.24
9.75	1.54	10.28	1.46	9.81	1.53	10.40	1.44
7.65	1.96	7.59	1.98	7.69	1.95	7.53	1.99
4.97	3.02	5.04	2.98	4.96	3.02	4.78	3.14
Medición 9		Medición 10		Medición 11		Medición 12	
tiempo 9 (s)	Caudal 9 (L/min)	tiempo 10 (s)	Caudal 10 (L/min)	tiempo 11 (s)	Caudal 11 (L/min)	tiempo 12 (s)	Caudal 12 (L/min)
59.07	0.25	58.90	0.25	59.56	0.25	61.06	0.25
28.88	0.52	30.47	0.49	30.88	0.49	29.94	0.50
19.72	0.76	20.19	0.74	20.78	0.72	19.31	0.78
15.59	0.96	15.09	0.99	15.66	0.96	15.60	0.96
11.94	1.26	12.32	1.22	12.53	1.20	12.00	1.25
9.97	1.50	9.75	1.54	10.13	1.48	9.90	1.52
7.65	1.96	7.72	1.94	7.41	2.02	7.56	1.98
5.00	3.00	5.09	2.95	4.91	3.05	4.93	3.04
Medición 13		Medición 14		Medición 15		Medición 16	
tiempo 13 (s)	Caudal 13 (L/min)	tiempo 14 (s)	Caudal 14 (L/min)	tiempo 15 (s)	Caudal 15 (L/min)	tiempo 16 (s)	Caudal 16 (L/min)
58.81	0.26	60.12	0.25	60.72	0.25	57.19	0.26
30.15	0.50	31.00	0.48	28.57	0.53	29.69	0.51
19.57	0.77	19.37	0.77	19.94	0.75	20.31	0.74
15.22	0.99	15.00	1.00	15.19	0.99	14.25	1.05
12.06	1.24	12.00	1.25	11.28	1.33	12.56	1.19
10.06	1.49	9.85	1.52	9.78	1.53	9.87	1.52
7.66	1.96	7.60	1.97	7.56	1.98	7.47	2.01
4.88	3.07	5.00	3.00	4.97	3.02	4.90	3.06
Medición 17		Medición 18		Medición 19		Medición 20	
tiempo 17 (s)	Caudal 17 (L/min)	tiempo 18 (s)	Caudal 18 (L/min)	tiempo 19 (s)	Caudal 19 (L/min)	tiempo 20 (s)	Caudal 20 (L/min)
58.53	0.26	61.25	0.24	62.15	0.24	63.19	0.24
30.16	0.50	30.81	0.49	29.29	0.51	29.34	0.51
20.16	0.74	19.25	0.78	19.88	0.75	19.41	0.77
15.06	1.00	14.44	1.04	14.65	1.02	15.10	0.99
12.16	1.23	12.19	1.23	12.16	1.23	12.16	1.23
9.65	1.55	10.15	1.48	9.66	1.55	9.63	1.56
7.53	1.99	7.60	1.97	7.56	1.98	7.56	1.98
5.09	2.95	4.93	3.04	4.94	3.04	5.00	3.00

Anexo III. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 3 L/min, primera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.4	23.4	23	07:10	29.3	28.9	25.2	14:20	31.2	31	26.1	21:30	31.7	31.6	26.1	28:40	31.9	32.1	26.3
00:10	23.5	23.6	23.2	07:20	29.3	29.1	25.4	14:30	31.2	31	26.1	21:40	31.6	31.6	26.3	28:50	32	32.1	26.3
00:20	23.8	23.8	23.2	07:30	29.3	29.1	25.4	14:40	31.3	31	26.1	21:50	31.7	31.6	26.3	29:00	32	32.1	26.3
00:30	24	24.1	23.2	07:40	29.4	29.1	25.4	14:50	31.3	31	26.1	22:00	31.8	31.6	26.3	29:10	32	32.1	26.3
00:40	24.2	24.3	23.2	07:50	29.5	29.1	25.4	15:00	31.3	31	26.1	22:10	31.8	31.6	26.3	29:20	32	32.1	26.3
00:50	24.4	24.3	23.4	08:00	29.8	29.4	25.4	15:10	31.3	31	26.1	22:20	31.8	31.9	26.3	29:30	32	32.1	26.3
01:00	24.6	24.4	23.4	08:10	29.6	29.4	25.4	15:20	31.3	31.3	26.1	22:30	31.8	31.6	26.3	29:40	32	32.1	26.3
01:10	24.8	24.7	23.4	08:20	29.7	29.4	25.4	15:30	31.3	31.3	26.1	22:40	31.8	31.6	26.3	29:50	32	32.1	26.3
01:20	25	25	23.4	08:30	29.8	29.7	25.4	15:40	31.3	31.3	26.1	22:50	31.8	31.6	26.3	30:00	32	32.1	26.3
01:30	25.2	25.2	23.4	08:40	29.9	29.7	25.4	15:50	31.3	31.3	26.1	23:00	31.9	31.6	26.3	30:10	32	32.1	26.3
01:40	25.3	25.4	23.5	08:50	29.9	29.7	25.4	16:00	31.4	31.3	26.1	23:10	31.9	31.6	26.3	30:20	32	32.1	26.3
01:50	25.4	25.4	23.5	09:00	29.9	29.7	25.4	16:10	31.4	31.3	26.1	23:20	31.9	31.6	26.3	30:30	31.9	32.1	26.3
02:00	25.5	25.6	23.7	09:10	30	30	25.4	16:20	31.4	31.3	26.1	23:30	31.9	31.9	26.3	30:40	31.9	32.1	26.5
02:10	25.8	25.8	23.7	09:20	30	30	25.4	16:30	31.5	31.3	26.1	23:40	32	31.6	26.3	30:50	31.9	32.4	26.5
02:20	25.9	25.8	23.7	09:30	30.1	30	25.6	16:40	31.5	31.3	26.1	23:50	31.9	31.6	26.3	31:00	32	32.1	26.5
02:30	26	26	23.7	09:40	30.1	30	25.6	16:50	31.4	31.3	26.1	24:00	31.9	31.6	26.3	31:10	32	32.1	26.5
02:40	26.2	26.3	24	09:50	30.1	30	25.6	17:00	31.4	31.3	26.1	24:10	31.9	31.9	26.3	31:20	32	32.1	26.5
02:50	26.4	26.5	24	10:00	30.2	30.2	25.6	17:10	31.5	31.3	26.1	24:20	31.8	31.9	26.3	31:30	32	32.1	26.5
03:00	26.5	26.56	24	10:10	30.2	30.2	25.6	17:20	31.5	31.6	26.1	24:30	31.9	31.9	26.3	31:40	32.1	32.1	26.5
03:10	26.6	26.7	24.2	10:20	30.2	30.2	25.6	17:30	31.5	31.3	26.1	24:40	31.8	31.9	26.3	31:50	32.1	32.1	26.5
03:20	26.8	26.7	24.2	10:30	30.2	30.2	25.6	17:40	31.5	31.3	26.1	24:50	31.9	31.9	26.3	32:00	32	32.1	26.5
03:30	27	27	24.2	10:40	30.4	30.2	25.6	17:50	31.5	31.3	26.1	25:00	31.8	31.9	26.3	32:10	32	32.1	26.5
03:40	27.1	27	24.2	10:50	30.5	30.5	25.8	18:00	31.5	31.3	26.1	25:10	31.8	31.9	26.3	32:20	32	32.1	26.5
03:50	27.1	27.2	24.2	11:00	30.6	30.5	25.8	18:10	31.5	31.3	26.1	25:20	31.9	31.9	26.3	32:30	32	32.1	26.5
04:00	27.3	27.4	24.4	11:10	30.7	30.5	25.8	18:20	31.6	31.3	26.1	25:30	31.9	31.9	26.3	32:40	32	32.1	26.5
04:10	27.4	27.4	24.4	11:20	30.7	30.5	25.8	18:30	31.6	31.3	26.1	25:40	31.8	31.9	26.3	32:50	32	32.1	26.5
04:20	27.6	27.4	24.4	11:30	30.7	30.5	25.8	18:40	31.6	31.6	26.1	25:50	31.8	31.9	26.3	33:00	32	32.1	26.5
04:30	27.7	27.7	24.4	11:40	30.8	30.5	25.8	18:50	31.6	31.6	26.1	26:00	31.8	31.9	26.3	33:10	32	32.1	26.5
04:40	27.9	27.7	24.7	11:50	30.8	30.5	26.1	19:00	31.6	31.3	26.1	26:10	31.8	31.9	26.3	33:20	32	32.1	26.5
04:50	28	28	24.7	12:00	30.8	30.5	26.1	19:10	31.6	31.6	26.1	26:20	31.8	31.9	26.3	33:30	32	32.1	26.5
05:00	28	28	24.7	12:10	30.8	30.5	26.1	19:20	31.7	31.6	26.1	26:30	31.9	31.9	26.3	33:40	32	32.4	26.5
05:10	28.1	28	24.7	12:20	30.8	30.8	25.8	19:30	31.7	31.6	26.1	26:40	31.9	31.9	26.3	33:50	32	32.4	26.5
05:20	28.2	28.1	25	12:30	30.9	30.8	26.1	19:40	31.6	31.6	26.1	26:50	31.9	31.9	26.3	34:00	32	32.1	26.5
05:30	28.3	28.1	25	12:40	30.9	30.8	26.1	19:50	31.7	31.6	26.1	27:00	31.9	32.1	26.3	34:10	32	32.1	26.5
05:40	28.5	28.1	25	12:50	30.9	30.8	26.1	20:00	31.7	31.6	26.1	27:10	31.9	32.1	26.3	34:20	31.9	32.1	26.5
05:50	28.5	28.1	25	13:00	31	30.8	26.1	20:10	31.6	31.6	26.6	27:20	31.9	32.1	26.3	34:30	31.9	32.4	26.5
06:00	28.6	28.1	25	13:10	31	30.8	26.1	20:20	31.6	31.6	26.1	27:30	31.9	32.1	26.3	34:40	32	32.1	26.5
06:10	28.7	28.4	25	13:20	31	30.8	26.1	20:30	31.6	31.6	26.1	27:40	31.9	32.1	26.3	34:50	32	32.4	26.5
06:20	28.8	28.4	25	13:30	31.1	30.8	26.1	20:40	31.6	31.6	26.1	27:50	31.9	32.1	26.3	35:00	32	32.1	26.5
06:30	28.8	28.6	25.2	13:40	31.1	31	26.1	20:50	31.6	31.6	26.1	28:00	31.9	32.1	26.3				
06:40	28.9	28.6	25	13:50	31.1	31	26	21:00	31.6	31.6	26.1	28:10	31.9	32.1	26.3				
06:50	29.1	28.9	25.2	14:00	31.1	31	26.1	21:10	31.6	31.6	26.1	28:20	31.9	32.1	26.3				
07:00	29.2	28.9	25.2	14:10	31.1	31	26.1	21:20	31.6	31.6	26.3	28:30	31.9	32.1	26.3				

Anexo IV. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 3 L/min, segunda repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.2	23.8	23.8	07:10	28.9	29	26.1	14:20	30.7	30.7	26.8	21:30	31.1	31.2	27.2	28:40	31.4	31.5	27.2
00:10	23.2	23.8	23.8	07:20	29	29	26.1	14:30	30.6	30.7	26.8	21:40	31.1	31.2	27.2	28:50	31.4	31.5	27.2
00:20	23.4	23.8	23.8	07:30	29.1	29	26.1	14:40	30.6	30.7	26.8	21:50	31.2	31.2	27.2	29:00	31.4	31.5	27.2
00:30	23.5	24.3	23.8	07:40	29.2	29	26.1	14:50	30.6	30.7	26.8	22:00	31.2	31.2	27.2	29:10	31.4	31.5	27.2
00:40	23.7	24.3	23.8	07:50	29.3	29	26.1	15:00	30.6	30.7	27	22:10	31.2	31.2	27.2	29:20	31.5	31.5	27.2
00:50	23.9	24.3	24	08:00	29.3	29	26.3	15:10	30.7	30.7	27	22:20	31.2	31.2	27.2	29:30	31.5	31.5	27.2
01:00	24.1	24.5	24	08:10	29.4	29.3	26.3	15:20	30.7	30.7	27	22:30	31.2	31.2	27.2	29:40	31.5	31.5	27.2
01:10	24.2	24.5	24	08:20	29.4	29.3	26.3	15:30	30.7	30.7	27	22:40	31.2	31.2	27.2	29:50	31.5	31.5	27.2
01:20	24.5	24.7	24.2	08:30	29.4	29.3	26.3	15:40	30.8	30.7	27	22:50	31.2	31.2	27.2	30:00	31.5	31.5	27.2
01:30	24.8	25	24.2	08:40	29.5	29.6	26.3	15:50	30.8	30.7	27	23:00	31.3	31.2	27.2	30:10	31.5	31.5	27.2
01:40	25	25.2	24.2	08:50	29.6	29.6	26.3	16:00	30.9	30.7	27	23:10	31.3	31.2	27.2	30:20	31.5	31.5	27.2
01:50	25.1	25.2	24.4	09:00	29.6	29.6	26.3	16:10	30.9	31	27	23:20	31.3	31.2	27.2	30:30	31.5	31.5	27.2
02:00	25.3	25.4	24.4	09:10	29.7	29.6	26.3	16:20	30.9	31	27	23:30	31.3	31.2	27.2	30:40	31.3	31.5	27.2
02:10	25.4	25.6	24.4	09:20	29.7	29.6	26.5	16:30	30.9	31	27	23:40	31.3	31.2	27.5	30:50	31.2	31.5	27.2
02:20	25.6	25.8	24.7	09:30	29.7	29.6	26.5	16:40	30.9	31	27	23:50	31.3	31.2	27.5	31:00	31.2	31.5	27.2
02:30	25.8	26	24.7	09:40	29.7	29.6	26.5	16:50	31	31	27	24:00	31.3	31.2	27.5	31:10	31.3	31.5	27.2
02:40	26	26	24.7	09:50	29.7	29.9	26.5	17:00	31	31	27	24:10	31.3	31.2	27.5	31:20	31.4	31.5	27.2
02:50	26.1	26.2	25	10:00	29.8	29.9	26.5	17:10	30.9	31	27	24:20	31.3	31.5	27.5	31:30	31.4	31.5	27.2
03:00	26.3	26.5	25	10:10	29.8	29.9	26.5	17:20	30.9	31	27	24:30	31.3	31.5	27.5	31:40	31.4	31.5	27.2
03:10	26.5	26.5	25	10:20	29.8	29.9	26.5	17:30	31	31	27	24:40	31.3	31.2	27.5	31:50	31.4	31.5	27.2
03:20	26.6	26.9	25.2	10:30	29.9	29.9	26.5	17:40	31	31	27	24:50	31.4	31.2	27.5	32:00	31.4	31.5	27.2
03:30	26.7	26.9	25.2	10:40	30	30.1	26.5	17:50	30.9	31	27	25:00	31.4	31.2	27.5	32:10	31.4	31.5	27.2
03:40	26.9	26.9	25.2	10:50	30	30.1	26.5	18:00	30.9	31	27	25:10	31.4	31.5	27.5	32:20	31.4	31.5	27.2
03:50	27	27.2	25.2	11:00	30.1	30.1	26.5	18:10	30.9	31	27	25:20	31.4	31.5	27.5	32:30	31.4	31.5	27.2
04:00	27.2	27.2	25.4	11:10	30.1	30.1	26.5	18:20	30.9	31	27	25:30	31.4	31.5	27.5	32:40	31.4	31.5	27.2
04:10	27.3	27.4	25.4	11:20	30.1	30.1	26.5	18:30	31	31	27	25:40	31.4	31.5	27.5	32:50	31.4	31.5	27.2
04:20	27.4	27.6	25.4	11:30	30.1	30.1	26.5	18:40	30.9	31	27	25:50	31.5	31.5	27.5	33:00	31.4	31.5	27.2
04:30	27.5	27.6	25.4	11:40	30.1	30.1	26.5	18:50	31	31	27	26:00	31.4	31.5	27.5	33:10	31.4	31.5	27.2
04:40	27.5	27.9	25.6	11:50	30.2	30.1	26.8	19:00	31.1	31	27	26:10	31.3	31.5	27.5	33:20	31.4	31.5	27.2
04:50	27.6	27.5	25.6	12:00	30.3	30.4	26.8	19:10	31.1	31	27	26:20	31.3	31.5	27.5	33:30	31.4	31.5	27.2
05:00	27.7	28	25.6	12:10	30.3	30.4	26.8	19:20	31.1	31	27	26:30	31.3	31.5	27.5	33:40	31.4	31.5	27.2
05:10	27.9	28	25.6	12:20	30.3	30.4	26.8	19:30	31.1	31	27	26:40	31.3	31.5	27.5	33:50	31.4	31.5	27.2
05:20	27.9	28	25.6	12:30	30.4	30.4	26.8	19:40	31.1	31	27	26:50	31.3	31.5	27.5	34:00	31.4	31.5	27.2
05:30	28.1	28	25.6	12:40	30.4	30.4	26.8	19:50	31	31	27	27:00	31.3	31.5	27.5	34:10	31.4	31.5	27.2
05:40	28.3	28.3	25.8	12:50	30.4	30.4	26.8	20:00	31	31	27	27:10	31.4	31.5	27.5	34:20	31.4	31.5	27.2
05:50	28.4	28.3	25.8	13:00	30.4	30.4	26.8	20:10	31	31.2	27	27:20	31.4	31.5	27.5	34:30	31.4	31.5	27.2
06:00	28.5	28.3	25.8	13:10	30.4	30.4	26.8	20:20	31	31.2	27.2	27:30	31.4	31.5	27.5	34:40	31.4	31.5	27.2
06:10	28.5	28.3	25.8	13:20	30.5	30.4	26.8	20:30	31	31	27.2	27:40	31.4	31.5	27.2	34:50	31.4	31.5	27.2
06:20	28.6	28.3	25.8	13:30	30.5	30.4	26.8	20:40	31	31.2	27.2	27:50	31.4	31.5	27.5	35:00	31.4	31.5	27.2
06:30	28.6	28.6	25.8	13:40	30.5	30.7	26.8	20:50	31	31.2	27.2	28:00	31.4	31.5	27.5				
06:40	28.7	28.8	26.1	13:50	30.6	30.7	26.8	21:00	31.1	31.2	27.2	28:10	31.4	31.5	27.5				
06:50	28.7	28.8	26.1	14:00	30.6	30.7	26.8	21:10	31.1	31.2	27.2	28:20	31.4	31.5	27.2				
07:00	28.8	28.8	26.1	14:10	30.6	30.7	26.8	21:20	31.1	31.2	27.2	28:30	31.4	31.5	27.2				

Anexo V. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 3 L/min, tercera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.2	23.6	22.2	07:10	28.3	28.4	24.2	14:20	30.6	30.5	25.4	21:30	31.4	31.3	25.6	28:40	31.7	31.9	26.1
00:10	23.1	23.6	22.2	07:20	28.4	28.4	24.2	14:30	30.7	30.5	25.4	21:40	31.5	31.6	25.6	28:50	31.7	31.9	26.1
00:20	23.2	23.8	22.2	07:30	28.4	28.4	24.2	14:40	30.7	30.8	25.4	21:50	31.5	31.3	25.6	29:00	31.8	31.9	26.1
00:30	23.4	23.8	22.2	07:40	28.6	28.4	24.2	14:50	30.7	30.8	25.4	22:00	31.6	31.3	25.8	29:10	31.8	31.9	26.1
00:40	23.5	23.8	22.2	07:50	28.6	28.6	24.2	15:00	30.6	30.8	25.4	22:10	31.6	31.3	25.8	29:20	31.8	31.9	26.1
00:50	23.7	23.9	22.2	08:00	28.7	28.6	24.2	15:10	30.7	30.8	25.4	22:20	31.5	31.6	25.8	29:30	31.9	31.9	26.1
01:00	23.8	24.1	22.3	08:10	28.8	28.6	24.2	15:20	30.8	30.8	25.4	22:30	31.5	31.6	25.8	29:40	31.8	31.9	26.1
01:10	24	24.3	22.3	08:20	28.9	28.6	24.4	15:30	30.8	30.8	25.4	22:40	31.6	31.6	25.8	29:50	31.9	31.9	26.1
01:20	24.1	24.4	22.3	08:30	28.9	28.6	24.4	15:40	30.9	30.8	25.4	22:50	31.6	31.6	25.8	30:00	31.9	31.9	26.1
01:30	24.3	24.4	22.5	08:40	29	28.9	24.4	15:50	30.9	30.8	25.4	23:00	31.6	31.6	25.8	30:10	31.9	31.9	26.1
01:40	24.5	24.7	22.5	08:50	29	28.9	24.4	16:00	30.9	30.8	25.4	23:10	31.6	31.6	25.8	30:20	31.9	31.9	26.1
01:50	24.6	24.7	22.5	09:00	29	28.9	24.4	16:10	30.9	30.8	25.4	23:20	31.6	31.6	25.8	30:30	31.9	31.9	26.1
02:00	24.8	25.2	22.7	09:10	29.1	29.1	24.4	16:20	30.9	30.8	25.4	23:30	31.7	31.6	25.8	30:40	31.9	31.9	26.1
02:10	25	25.2	22.7	09:20	29.1	29.1	24.4	16:30	31	30.8	25.4	23:40	31.7	31.6	25.8	30:50	31.9	31.9	26.1
02:20	25.1	25.4	22.7	09:30	29.3	29.4	24.7	16:40	31	30.8	25.4	23:50	31.6	31.6	25.8	31:00	31.9	31.9	26.1
02:30	25.2	25.6	22.7	09:40	29.4	29.4	24.7	16:50	31	31	25.4	24:00	31.6	31.6	25.8	31:10	31.9	31.9	26.1
02:40	25.4	25.6	23	09:50	29.4	29.4	24.7	17:00	31	31	25.4	24:10	31.6	31.6	25.8	31:20	31.9	31.9	26.1
02:50	25.5	25.6	23.2	10:00	29.5	29.4	24.7	17:10	31	31	25.4	24:20	31.6	31.6	25.8	31:30	31.9	31.9	26.1
03:00	25.7	26	23.2	10:10	29.5	29.4	24.7	17:20	31	31	25.4	24:30	31.7	31.6	25.8	31:40	31.9	31.9	26.1
03:10	25.8	26	23.2	10:20	29.6	29.4	24.7	17:30	30.9	31	25.4	24:40	31.7	31.6	25.8	31:50	31.9	31.9	26.1
03:20	25.9	26	23.2	10:30	29.6	29.4	24.7	17:40	31	31	25.4	24:50	31.7	31.6	25.8	32:00	31.9	32.2	26.1
03:30	26	26.3	23.2	10:40	29.6	29.7	25	17:50	31	31	25.4	25:00	31.6	31.6	25.8	32:10	31.9	32.2	26.1
03:40	26.2	26.3	23.4	10:50	29.8	29.7	25	18:00	31.1	31	25.4	25:10	31.6	31.6	25.8	32:20	31.9	31.9	26.1
03:50	26.3	26.5	23.4	11:00	29.8	29.7	25	18:10	31.2	31	25.4	25:20	31.7	31.6	25.8	32:30	32	31.9	26.1
04:00	26.4	26.5	23.4	11:10	29.8	29.7	25	18:20	31.1	31	25.4	25:30	31.8	31.6	26.1	32:40	32	31.9	26.1
04:10	26.6	26.7	23.4	11:20	29.9	30	25	18:30	31.1	31	25.4	25:40	31.8	31.6	26.1	32:50	32	32.2	26.1
04:20	26.6	26.7	23.4	11:30	29.9	30	25	18:40	31.1	31	25.4	25:50	31.8	31.6	26.1	33:00	32	32.2	26.1
04:30	26.7	26.7	23.4	11:40	30	30	25	18:50	31.2	31	25.4	26:00	31.7	31.6	26.1	33:10	31.9	31.9	26.1
04:40	26.8	27	23.4	11:50	30	30	25	19:00	31.3	31	25.6	26:10	31.7	31.6	26.1	33:20	31.9	31.9	26.3
04:50	27	27.2	23.5	12:00	30.1	30	25.2	19:10	31.3	31.3	25.6	26:20	31.8	31.6	26.1	33:30	31.9	31.9	26.3
05:00	27.1	27.2	23.5	12:10	30.2	30	25.2	19:20	31.3	31.3	25.6	26:30	31.8	31.6	26.1	33:40	31.9	31.9	26.3
05:10	27.2	27.4	23.5	12:20	30.2	30	25.2	19:30	31.3	31.3	25.6	26:40	31.8	31.9	26.1	33:50	31.9	31.9	26.3
05:20	27.3	27.7	23.7	12:30	30.3	30.2	25.2	19:40	31.3	31.3	25.6	26:50	31.7	31.9	26.1	34:00	31.9	31.9	26.3
05:30	27.4	27.7	23.7	12:40	30.3	30.2	25.2	19:50	31.2	31.3	25.6	27:00	31.7	31.9	26.1	34:10	31.9	31.9	26.3
05:40	27.5	27.7	23.7	12:50	30.3	30.2	25.2	20:00	31.2	31.3	25.6	27:10	31.7	31.9	26.1	34:20	31.9	31.9	26.3
05:50	27.5	28	23.7	13:00	30.3	30.2	25.2	20:10	31.2	31.3	25.6	27:20	31.8	31.9	26.1	34:30	32	32.2	26.3
06:00	27.7	28	23.7	13:10	30.4	30.2	25.2	20:20	31.2	31.3	25.6	27:30	31.8	31.9	26.1	34:40	32	32.2	26.3
06:10	27.7	28	23.7	13:20	30.5	30.2	25.2	20:30	31.2	31.3	25.6	27:40	31.9	31.9	26.1	34:50	32	32.2	26.3
06:20	27.9	28	24	13:30	30.5	30.5	25.2	20:40	31.3	31.3	25.6	27:50	31.9	31.9	26.1	35:00	32.1	31.9	26.3
06:30	28	28	24	13:40	30.5	30.5	25.2	20:50	31.3	31.3	25.6	28:00	31.7	31.9	26.1				
06:40	28.1	28.1	24	13:50	30.5	30.5	25.4	21:00	31.4	31.3	25.6	28:10	31.7	31.9	26.1				
06:50	28.2	28.1	24	14:00	30.5	30.5	25.4	21:10	31.4	31.3	25.6	28:20	31.7	31.9	26.1				
07:00	28.3	28.1	24	14:10	30.5	30.5	25.4	21:20	31.4	31.3	25.6	28:30	31.7	31.9	26.1				

Anexo VI. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 2 L/min, primera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.1	23.4	22.7	07:10	30.8	30.2	25	14:20	34.6	34	26.3	21:30	36.9	36	27.3	28:40	37.9	37	27.5
00:10	23.4	23.6	22.7	07:20	31	30.5	25	14:30	34.8	34	26.3	21:40	36.9	36	27.3	28:50	37.9	37	27.5
00:20	23.7	23.8	22.7	07:30	31	30.5	25	14:40	34.8	34	26.3	21:50	36.9	36	27.3	29:00	37.8	37	27.8
00:30	23.9	24.1	22.7	07:40	31.1	30.8	25.2	14:50	34.8	34	26.3	22:00	37	36	27.3	29:10	38	37	27.8
00:40	24.6	24.3	23	07:50	31.2	30.8	25.2	15:00	34.9	34	26.3	22:10	37	36	27.3	29:20	38	37	27.8
00:50	25	24.4	23	08:00	31.3	31	25.2	15:10	35	34	26.5	22:20	36.9	36.2	27.3	29:30	38	37	27.8
01:00	25.2	24.7	23.2	08:10	31.3	31	25.2	15:20	35	34	26.5	22:30	37	36	27.3	29:40	38.1	37.3	27.8
01:10	25.4	25	23.2	08:20	31.6	31	25.2	15:30	35.1	34.3	26.5	22:40	36.9	36	27.3	29:50	38.1	37.3	27.8
01:20	25.5	25.2	23.2	08:30	31.6	31	25.2	15:40	35.1	34.3	26.5	22:50	37	36.2	27.3	30:00	38.1	37.3	27.8
01:30	25.7	25.4	23.2	08:40	31.7	31.3	25.4	15:50	35.2	34.3	26.5	23:00	37	36.2	27.3	30:10	38	37.3	27.8
01:40	25.7	25.6	23.4	08:50	31.8	31.3	25.4	16:00	35.3	34.3	26.5	23:10	37.1	36.2	27.3	30:20	38	37.3	27.8
01:50	25.9	25.8	23.4	09:00	31.9	31.3	25.4	16:10	35.3	34.6	26.5	23:20	37.1	36.2	27.3	30:30	38.1	37.3	27.8
02:00	26.2	26	23.4	09:10	32.1	31.6	25.4	16:20	35.5	34.6	26.5	23:30	37.1	36.2	27.3	30:40	38.2	37.3	27.8
02:10	26.3	26	23.6	09:20	32.2	31.6	25.4	16:30	35.5	34.6	26.8	23:40	37.2	36.2	27.3	30:50	38.2	37.3	27.8
02:20	26.5	26.3	23.6	09:30	32.3	31.9	25.4	16:40	35.5	34.6	26.8	23:50	37.2	36.2	27.3	31:00	38.3	37.3	27.8
02:30	26.7	26.7	23.6	09:40	32.4	31.9	25.6	16:50	35.5	34.9	26.8	24:00	37.2	36.2	27.3	31:10	38.3	37.3	27.8
02:40	26.9	26.7	23.5	09:50	32.5	31.9	25.6	17:00	35.5	34.9	26.8	24:10	37.2	36.2	27.3	31:20	38.3	37.3	27.8
02:50	27.1	26.7	23.6	10:00	32.5	32.2	25.6	17:10	35.5	34.9	26.8	24:20	37.2	36.2	27.3	31:30	38.2	37.3	27.8
03:00	27.3	27	23.6	10:10	32.6	32.2	25.6	17:20	35.6	34.9	26.8	24:30	37.2	36.6	27.5	31:40	38.2	37.3	27.8
03:10	27.4	27.2	23.7	10:20	32.8	32.2	25.6	17:30	35.6	34.9	26.8	24:40	37.4	36.6	27.5	31:50	38.3	37.3	27.8
03:20	27.7	27.2	23.7	10:30	32.8	32.2	25.6	17:40	35.7	34.9	26.8	24:50	37.4	36.6	27.5	32:00	38.3	37.3	27.8
03:30	28	27.4	23.7	10:40	32.9	32.2	25.6	17:50	35.9	34.9	26.8	25:00	37.4	36.6	27.3	32:10	38.3	37.3	27.8
03:40	28	27.7	23.7	10:50	32.9	32.2	25.8	18:00	35.9	34.9	26.8	25:10	37.4	36.6	27.5	32:20	38.4	37.3	27.8
03:50	28.2	27.7	24	11:00	33	32.5	25.8	18:10	35.9	34.9	26.8	25:20	37.4	36.6	27.5	32:30	38.6	37.3	27.8
04:00	28.3	28	24	11:10	33.3	32.5	25.8	18:20	35.9	34.9	26.8	25:30	37.4	36.6	27.5	32:40	38.6	37.3	27.8
04:10	28.4	28	24	11:20	33.3	32.5	25.8	18:30	36	34.9	26.8	25:40	37.4	36.6	27.5	32:50	38.6	37.3	27.8
04:20	28.6	28	24	11:30	33.4	32.5	25.8	18:40	36.1	35.3	27	25:50	37.4	36.6	27.5	33:00	38.6	37.3	27.8
04:30	28.7	28.1	24.2	11:40	33.5	32.5	25.8	18:50	36.2	35.3	27	26:00	37.4	36.6	27.5	33:10	38.5	37.3	27.8
04:40	28.9	28.4	24.2	11:50	33.5	32.8	25.8	19:00	36.2	35.3	27	26:10	37.4	36.6	27.5	33:20	38.5	37.3	27.8
04:50	29	28.4	24.2	12:00	33.6	32.8	25.8	19:10	36.2	35.3	27	26:20	37.4	37	27.5	33:30	38.4	37.3	27.8
05:00	29.1	28.6	24.2	12:10	33.6	32.8	26.1	19:20	36.2	35.3	27	26:30	37.6	37	27.5	33:40	38.4	37.3	27.8
05:10	29.2	28.9	24.4	12:20	33.9	33	26.1	19:30	36.3	35.3	27	26:40	37.6	37	27.5	33:50	38.4	37.3	27.8
05:20	29.4	28.9	24.4	12:30	34	33	26.1	19:40	36.4	35.6	27	26:50	37.7	37	27.5	34:00	38.6	37.3	27.8
05:30	29.5	29.1	24.4	12:40	34	33.3	26.1	19:50	36.5	35.6	27	27:00	37.7	37	27.5	34:10	38.6	37.3	27.8
05:40	29.6	29.1	24.4	12:50	34.1	33.3	26.1	20:00	36.5	35.6	27	27:10	37.8	37	27.5	34:20	38.6	37.3	27.8
05:50	29.7	29.4	24.4	13:00	34.2	33.3	26.1	20:10	36.5	35.6	27	27:20	37.7	37	27.5	34:30	38.5	37.3	28
06:00	29.9	29.4	24.7	13:10	34.2	33.3	26.1	20:20	36.5	35.6	27.3	27:30	37.7	37	27.5	34:40	38.6	37.3	28
06:10	30.1	29.7	24.7	13:20	34.2	33.3	26.1	20:30	36.5	35.6	27.3	27:40	37.8	37	27.5	34:50	38.6	37.3	28
06:20	30.2	29.7	24.7	13:30	34.3	33.6	26.3	20:40	36.5	35.6	27.3	27:50	37.8	37	27.5	35:00	38.6	37.3	28
06:30	30.3	30	24.7	13:40	34.4	33.6	26.3	20:50	36.5	35.6	27.3	28:00	37.9	37	27.5				
06:40	30.4	30	24.7	13:50	34.4	33.6	26.3	21:00	36.7	36	27.3	28:10	37.8	37	27.8				
06:50	30.6	30.2	25	14:00	34.5	33.6	26.3	21:10	36.7	36	27.3	28:20	37.8	37	27.5				
07:00	30.8	30.2	25	14:10	34.5	33.6	26.3	21:20	36.8	36	27.3	28:30	37.8	37	27.5				

Anexo VII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 2 L/min, segunda repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.2	23.4	23.4	07:10	31.1	30.4	25.4	14:20	34.7	34.4	27	21:30	36.5	36	27.5	28:40	37.5	37	27.5
00:10	23.3	23.8	23.4	07:20	31.2	30.4	25.4	14:30	34.7	34.4	27	21:40	36.5	36	27.5	28:50	37.5	37	27.5
00:20	23.5	24.1	23.4	07:30	31.2	30.4	25.4	14:40	34.8	34.4	27	21:50	36.5	36	27.5	29:00	37.5	37	27.5
00:30	23.7	24.1	23.4	07:40	31.3	30.7	25.6	14:50	34.8	34.4	27	22:00	36.5	36.4	27.5	29:10	37.5	37	27.5
00:40	23.8	24.3	23.6	07:50	31.3	31	25.6	15:00	35	34.4	27	22:10	36.6	36.4	27.5	29:20	37.5	37	27.5
00:50	24	24.5	23.6	08:00	31.5	31	25.6	15:10	35	34.4	27	22:20	36.6	36.4	27.5	29:30	37.7	37	27.7
01:00	24.4	24.5	23.6	08:10	31.5	31	25.6	15:20	35.1	34.4	27	22:30	36.8	36.4	27.5	29:40	37.7	37	27.7
01:10	24.6	24.7	23.6	08:20	31.6	31	25.8	15:30	35.1	34.7	27	22:40	36.8	36.4	27.5	29:50	37.7	37	27.5
01:20	24.9	25	23.6	08:30	31.7	31.3	25.8	15:40	35.2	34.7	27	22:50	36.8	36.4	27.5	30:00	37.7	37	27.7
01:30	25	25.2	23.6	08:40	31.9	31.3	25.8	15:50	35.2	34.7	27	23:00	36.8	36.4	27.5	30:10	37.6	37	27.5
01:40	25.2	25.4	23.6	08:50	32.1	31.5	26.1	16:00	35.4	34.7	27.2	23:10	36.8	36.4	27.5	30:20	37.6	37	27.5
01:50	25.5	25.6	23.7	09:00	32.1	31.5	26.1	16:10	35.4	35	27.2	23:20	36.8	36.4	27.5	30:30	37.6	37.4	27.5
02:00	25.8	25.6	23.7	09:10	32.2	31.8	26.1	16:20	35.5	35	27.2	23:30	37	36.4	27.5	30:40	37.6	37.4	27.7
02:10	26.2	25.8	23.7	09:20	32.3	31.8	26.1	16:30	35.5	35	27	23:40	37	36.4	27.5	30:50	37.6	37	27.7
02:20	26.6	26	23.7	09:30	32.4	32	26.1	16:40	35.5	35	27	23:50	37	36.4	27.7	31:00	37.7	37	27.5
02:30	26.7	26.2	24	09:40	32.5	32	26.1	16:50	35.6	35	27	24:00	37	36.4	27.7	31:10	37.7	37.4	27.7
02:40	26.9	26.5	24	09:50	32.7	32.3	26.3	17:00	35.7	35.3	27.2	24:10	37	36.4	27.7	31:20	37.7	37.4	27.5
02:50	27	26.7	24	10:00	32.9	32.3	26.3	17:10	35.7	35	27.2	24:20	37	36.4	27.7	31:30	37.8	37.4	27.7
03:00	27.1	26.7	24	10:10	32.9	32.6	26.3	17:20	35.8	35.3	27.2	24:30	37.1	36.4	27.7	31:40	37.8	37.4	27.5
03:10	27.2	26.9	24.2	10:20	32.8	32.6	26.3	17:30	35.7	35.3	27.2	24:40	37.1	36.4	27.7	31:50	37.8	37.4	27.5
03:20	27.4	27.2	24.2	10:30	33	32.6	26.3	17:40	35.7	35.3	27.2	24:50	37.1	36.4	27.7	32:00	37.8	37.4	27.7
03:30	27.6	27.2	24.2	10:40	33.2	32.6	26.3	17:50	35.7	35.3	27.2	25:00	37.1	36.4	27.7	32:10	37.8	37.4	27.7
03:40	27.7	27.7	24.4	10:50	33.3	32.6	26.3	18:00	35.7	35.3	27.2	25:10	37.1	36.7	27.7	32:20	37.8	37.4	27.7
03:50	27.9	27.7	24.4	11:00	33.3	32.9	26.3	18:10	35.8	35.3	27.2	25:20	37.2	36.7	27.7	32:30	37.8	37.4	27.7
04:00	28	27.9	24.4	11:10	33.4	32.9	26.3	18:20	35.8	35.3	27.2	25:30	37.2	36.7	27.7	32:40	37.8	37.4	27.7
04:10	28.2	27.9	24.4	11:20	33.5	32.9	26.3	18:30	35.9	35.7	27.2	25:40	37.2	36.7	27.7	32:50	37.8	37.4	27.7
04:20	28.3	28.1	24.4	11:30	33.6	32.9	26.3	18:40	35.9	35.7	27.2	25:50	37.2	36.7	27.7	33:00	37.8	37.4	27.7
04:30	28.6	28.1	24.7	11:40	33.7	33.2	26.5	18:50	36	35.7	27.2	26:00	37.2	36.7	27.7	33:10	37.8	37.4	27.7
04:40	28.7	28.3	24.7	11:50	33.8	33.2	26.5	19:00	36	35.7	27.2	26:10	37.2	36.7	27.5	33:20	37.8	37.4	27.7
04:50	28.9	28.3	24.7	12:00	33.9	33.2	26.5	19:10	36.1	35.7	27.2	26:20	37.3	36.7	27.7	33:30	37.8	37.4	27.7
05:00	29	28.6	24.7	12:10	34	33.5	26.5	19:20	36.2	35.7	27.2	26:30	37.3	36.7	27.7	33:40	37.9	37.4	27.7
05:10	29.3	28.9	25	12:20	34.1	33.5	26.5	19:30	36.2	35.7	27.2	26:40	37.3	36.7	27.7	33:50	38	37.4	27.7
05:20	29.3	28.9	25	12:30	34.1	33.5	26.8	19:40	36.2	35.7	27.2	26:50	37.3	36.7	27.7	34:00	38	37.4	27.7
05:30	29.6	29.1	25	12:40	34.2	33.5	26.8	19:50	36.2	35.7	27.2	27:00	37.3	36.7	27.7	34:10	37.9	37.4	27.7
05:40	29.7	29.1	25	12:50	34.2	33.8	26.8	20:00	36.2	35.7	27.2	27:10	37.3	37	27.7	34:20	37.9	37.4	27.7
05:50	29.7	29.3	25	13:00	34.3	33.8	26.8	20:10	36.3	35.7	27.5	27:20	37.3	37	27.5	34:30	37.9	37.4	27.7
06:00	29.9	29.3	25.2	13:10	34.3	33.8	26.8	20:20	36.3	36	27.5	27:30	37.5	37	27.7	34:40	37.9	37.4	27.7
06:10	30	29.6	25.2	13:20	34.4	33.8	26.8	20:30	36.3	36	27.5	27:40	37.5	37	27.5	34:50	37.9	37.4	27.7
06:20	30.2	29.6	25.2	13:30	34.5	33.8	26.8	20:40	36.4	36	27.5	27:50	37.5	37	27.5	35:00	38	37.4	27.7
06:30	30.3	29.9	25.2	13:40	34.5	34.1	26.8	20:50	36.5	36	27.5	28:00	37.5	37	27.5				
06:40	30.4	29.9	25.2	13:50	34.5	34.1	26.8	21:00	36.5	36	27.5	28:10	37.5	37	27.7				
06:50	30.7	30.1	25.4	14:00	34.5	34.1	26.8	21:10	36.5	36	27.5	28:20	37.6	37	27.5				
07:00	30.9	30.1	25.4	14:10	34.6	34.1	27	21:20	36.5	36	27.5	28:30	37.6	37	27.5				

Anexo VIII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 2 L/min, tercera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.2	23.4	23.7	07:10	31	31	26.5	14:20	34.9	34.4	27.7	21:30	36.8	36.4	28.4	28:40	37.3	37	28.7
00:10	23.4	23.6	23.7	07:20	31	31	26.5	14:30	35.1	34.4	27.7	21:40	36.8	36.4	28.4	28:50	37.4	36.7	28.7
00:20	23.5	23.8	24	07:30	31.1	31	26.5	14:40	35.2	34.7	28	21:50	36.8	36.4	28.4	29:00	37.4	36.7	28.7
00:30	23.6	24.1	24	07:40	31.3	31.2	26.5	14:50	35.2	34.7	27.7	22:00	36.8	36.4	28.4	29:10	37.4	36.7	28.7
00:40	24.1	24.5	24.2	07:50	31.4	31.2	26.5	15:00	35.2	34.7	28	22:10	36.8	36.4	28.4	29:20	37.4	36.7	28.7
00:50	24.2	24.7	24.2	08:00	31.6	31.5	26.5	15:10	35.3	34.7	28	22:20	36.9	36.4	28.4	29:30	37.4	36.7	28.7
01:00	24.4	25	24.2	08:10	31.7	31.5	26.8	15:20	35.4	34.7	28	22:30	36.9	36.4	28.4	29:40	37.4	36.7	28.7
01:10	24.6	25	24.4	08:20	31.8	31.7	26.8	15:30	35.4	34.7	28	22:40	36.9	36.4	28.4	29:50	37.4	36.7	28.7
01:20	24.8	25.2	24.4	08:30	32.1	31.7	26.8	15:40	35.5	35	28	22:50	36.9	36.4	28.4	30:00	37.4	36.7	28.7
01:30	25	25.4	24.4	08:40	32.2	31.7	26.8	15:50	35.7	35	28	23:00	36.9	36.4	28.4	30:10	37.4	36.9	28.7
01:40	25.3	25.6	24.7	08:50	32.3	32	26.8	16:00	35.7	35	28	23:10	36.9	36.4	28.4	30:20	37.4	36.9	28.4
01:50	25.5	25.8	24.7	09:00	32.4	32	27	16:10	35.7	35	28	23:20	36.9	36.4	28.4	30:30	37.4	36.9	28.4
02:00	25.8	26	24.7	09:10	32.5	32	27	16:20	35.7	35	28	23:30	37	36.4	28.4	30:40	37.4	36.9	28.4
02:10	26.1	26.2	24.7	09:20	32.5	32.3	27	16:30	35.7	35.3	28	23:40	37.1	36.4	28.4	30:50	37.4	36.9	28.4
02:20	26.3	26.5	24.7	09:30	32.6	32.3	27	16:40	35.8	35.3	28.2	23:50	37.1	36.4	28.4	31:00	37.4	37.2	28.7
02:30	26.4	26.7	25	09:40	32.7	32.6	27	16:50	35.8	35.3	28.2	24:00	37.1	36.4	28.4	31:10	37.4	37.2	28.7
02:40	26.6	26.7	25	09:50	32.7	32.6	27	17:00	35.9	35.3	28.2	24:10	37.1	36.4	28.4	31:20	37.5	37.2	28.7
02:50	26.8	26.9	25	10:00	32.7	32.6	27	17:10	35.9	35.3	28.2	24:20	37.1	36.4	28.4	31:30	37.6	37.2	28.7
03:00	26.9	27.2	25	10:10	32.8	32.6	27.2	17:20	36	35.3	28.2	24:30	37.1	36.4	28.4	31:40	37.6	37.2	28.7
03:10	27.1	27.4	25.2	10:20	33.1	32.6	27.2	17:30	36	35.3	28.2	24:40	37.1	36.7	28.4	31:50	37.5	37.2	28.7
03:20	27.4	27.6	25.2	10:30	33.4	32.9	27.2	17:40	36	35.3	28.2	24:50	37.2	36.7	28.4	32:00	37.5	37.2	28.7
03:30	27.6	27.6	25.2	10:40	33.5	32.9	27.2	17:50	36.1	35.7	28.2	25:00	37.2	36.7	28.4	32:10	37.5	37.2	28.7
03:40	27.7	27.9	25.4	10:50	33.5	32.9	27.2	18:00	36.2	35.7	28.2	25:10	37.2	36.7	28.4	32:20	37.6	37.2	28.7
03:50	27.9	28	25.4	11:00	33.6	32.9	27.2	18:10	36.2	35.7	28.2	25:20	37.2	36.7	28.4	32:30	37.7	37.2	28.7
04:00	28.3	28.3	25.4	11:10	33.5	33.2	27.5	18:20	36.2	35.7	28.7	25:30	37.3	36.7	28.4	32:40	37.7	37.2	28.7
04:10	28.6	28.3	25.6	11:20	33.6	33.2	27.5	18:30	36.2	35.7	28.4	25:40	37.4	36.7	28.4	32:50	37.7	37.2	28.7
04:20	28.7	28.3	25.6	11:30	33.7	33.2	27.5	18:40	36.5	35.7	28.4	25:50	37.4	36.7	28.4	33:00	37.6	37.2	28.7
04:30	28.8	28.6	25.6	11:40	33.7	33.2	27.5	18:50	36.5	35.7	28.4	26:00	37.3	36.7	28.4	33:10	37.6	37.2	28.7
04:40	28.9	28.6	25.6	11:50	33.8	33.5	27.5	19:00	36.4	35.7	28.4	26:10	37.3	36.7	28.4	33:20	37.6	37.2	28.7
04:50	28.9	28.8	25.6	12:00	33.9	33.5	27.5	19:10	36.4	35.7	28.7	26:20	37.4	36.7	28.4	33:30	37.7	37.2	28.7
05:00	29	29	25.8	12:10	34	33.5	27.5	19:20	36.5	36	28.7	26:30	37.4	36.7	28.4	33:40	37.7	37.2	28.7
05:10	29.2	29	25.8	12:20	34.1	33.8	27.5	19:30	36.4	36	28.7	26:40	37.4	36.7	28.4	33:50	37.7	37.2	28.7
05:20	29.3	29.3	25.8	12:30	34.1	33.8	27.5	19:40	36.4	36	28.4	26:50	37.3	36.7	28.4	34:00	37.8	37.2	28.7
05:30	29.5	29.3	25.8	12:40	34.1	33.8	27.5	19:50	36.4	36	28.4	27:00	37.2	36.7	28.4	34:10	37.8	37.2	28.7
05:40	29.6	29.6	26.1	12:50	34.3	33.8	27.5	20:00	36.4	36	28.4	27:10	37.2	36.7	28.4	34:20	37.8	37.2	29
05:50	29.8	29.9	26.1	13:00	34.6	33.8	27.5	20:10	36.5	36	28.4	27:20	37.3	36.7	28.4	34:30	37.8	37.2	29
06:00	30	29.9	26.1	13:10	34.7	34.1	27.7	20:20	36.5	36	28.4	27:30	37.3	36.7	28.4	34:40	37.7	37.2	28.7
06:10	30.2	29.9	26.1	13:20	34.7	34.1	27.5	20:30	36.6	36	28.4	27:40	37.3	36.7	28.4	34:50	37.7	37.2	29
06:20	30.6	30.1	26.1	13:30	34.7	34.1	27.5	20:40	36.6	36	28.4	27:50	37.3	36.7	28.4	35:00	37.8	37.2	29
06:30	30.8	30.4	26.3	13:40	34.7	34.1	27.7	20:50	36.6	36	28.4	28:00	37.2	36.7	28.4				
06:40	30.8	30.4	26.3	13:50	34.7	34.4	27.7	21:00	36.7	36.4	28.4	28:10	37.4	36.7	28.4				
06:50	30.8	30.7	26.3	14:00	34.8	34.4	27.7	21:10	36.8	36.4	28.4	28:20	37.5	36.7	28.4				
07:00	30.9	30.7	26.3	14:10	34.8	34.4	27.7	21:20	36.8	36.4	28.4	28:30	37.4	36.7	28.7				

Anexo IX. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 1 L/min, primera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.3	23.8	23	07:10	32.4	30	24	14:20	39.5	35.3	25.6	21:30	40	37	26.1	28:40	40.5	37.2	26.1
00:10	23.5	23.8	23	07:20	32.7	30	24	14:30	39.7	35.6	25.8	21:40	39.8	37	26.1	28:50	40.4	37.2	26.1
00:20	23.6	23.8	23	07:30	33	30.2	24	14:40	40	35.6	25.8	21:50	39.4	37	25.8	29:00	40.1	37.2	26.3
00:30	23.9	24.1	23	07:40	33.1	30.2	24.2	14:50	39.9	35.6	25.8	22:00	39.7	37	26.1	29:10	40	37.2	26.3
00:40	24.3	24.1	23	07:50	33.2	30.5	24.2	15:00	39.7	35.6	25.8	22:10	40	37	26.1	29:20	39.7	37.2	26.3
00:50	24.5	24.3	23	08:00	33.4	30.8	24.2	15:10	39.7	36	25.8	22:20	40.4	37	26.1	29:30	39.2	37.5	26.5
01:00	24.8	24.3	23	08:10	33.6	30.8	24.2	15:20	39.7	36	25.8	22:30	40.4	37	26.1	29:40	39.7	37.5	26.3
01:10	25	24.3	23	08:20	33.7	31	24.2	15:30	40	36	25.6	22:40	40.1	37	25.8	29:50	40.3	37.5	26.3
01:20	25.3	24.4	23	08:30	33.9	31	24.2	15:40	40	36	25.6	22:50	39.9	37	26.1	30:00	40.5	37.5	26.1
01:30	25.5	24.7	23	08:40	34	31.3	24.2	15:50	39.9	36.2	25.6	23:00	39.6	37	26.5	30:10	40	37.5	26.1
01:40	25.7	25	23	08:50	34.2	31.3	24.4	16:00	39.6	36.2	25.8	23:10	39.8	37	26.1	30:20	39.8	37.5	26.1
01:50	25.9	25	23	09:00	34.4	31.6	24.4	16:10	39.8	36.2	25.6	23:20	40.1	37	26.1	30:30	39.9	37.5	26.1
02:00	26.1	25.2	23	09:10	34.6	31.6	24.4	16:20	40.2	36.2	26.1	23:30	40.4	37	26.1	30:40	40	37.5	26.3
02:10	26.5	25.4	23	09:20	34.8	31.9	24.4	16:30	40.3	36.2	26.1	23:40	40.4	37	26.1	30:50	40.3	37.5	26.8
02:20	26.6	25.6	23.2	09:30	34.9	31.9	24.7	16:40	39.9	36.2	25.8	23:50	40.2	37	25.8	31:00	40.6	37.5	26.8
02:30	26.9	25.8	23.2	09:40	35.1	32.2	24.7	16:50	39.7	36.2	25.4	24:00	39.8	37	25.8	31:10	40.4	37.5	26.3
02:40	27.4	25.8	23.2	09:50	35.3	32.2	24.7	17:00	39.5	36.6	25.6	24:10	39.6	37	25.8	31:20	40.2	37.5	26.3
02:50	27.5	26	23.2	10:00	35.5	32.2	24.7	17:10	39.8	36.6	25.8	24:20	39.6	37	26.1	31:30	39.9	37.5	26.3
03:00	27.6	26.3	23.2	10:10	35.6	32.2	24.7	17:20	40	36.6	25.6	24:30	40	37	25.8	31:40	39.5	37.5	26.1
03:10	27.7	26.3	23.2	10:20	35.8	32.5	24.7	17:30	40.2	36.6	25.6	24:40	40	37	25.8	31:50	39.5	37.5	26.1
03:20	27.9	26.5	23.2	10:30	35.9	32.5	25	17:40	40.1	36.6	25.8	24:50	40.8	37	25.8	32:00	39.7	37.5	26.3
03:30	28	26.7	23.2	10:40	36.1	32.8	25	17:50	39.9	36.6	25.8	25:00	40.5	37	26.1	32:10	39.9	37.5	26.5
03:40	28.1	27	23.4	10:50	36.2	32.8	25	18:00	39.8	36.6	26.1	25:10	40.1	37	26.3	32:20	40.3	37.5	26.3
03:50	28.3	27	23.4	11:00	36.5	33	25	18:10	39.5	36.6	26.1	25:20	39.8	37	26.1	32:30	40.8	37.2	27.3
04:00	28.6	27.2	23.4	11:10	36.6	33	25	18:20	39.9	36.6	26.1	25:30	39.5	37	26.3	32:40	40.5	37.2	26.8
04:10	28.8	27.2	23.4	11:20	36.6	33	25	18:30	40.2	36.6	26.1	25:40	39.5	37	26.3	32:50	40.3	37.2	27
04:20	29	27.4	23.4	11:30	36.7	33.3	25.2	18:40	40.4	36.6	25.8	25:50	39.9	37	26.1	33:00	40.1	37.5	26.8
04:30	29.2	27.7	23.4	11:40	36.9	33.3	25.2	18:50	40.2	36.6	25.8	26:00	40.1	37.2	26.1	33:10	39.9	37.5	25.8
04:40	29.4	27.7	23.4	11:50	37.2	33.6	25.2	19:00	39.9	36.6	25.8	26:10	40.3	37.2	26.1	33:20	39.2	37.5	26.8
04:50	29.7	28	23.4	12:00	37.3	33.6	25.2	19:10	39.6	36.6	25.8	26:20	40.4	37.2	26.1	33:30	39.3	37.5	26.5
05:00	29.8	28	23.5	12:10	37.6	33.6	25.2	19:20	39.5	36.6	25.6	26:30	40.1	37.2	26.3	33:40	39.7	37.5	26.5
05:10	30	28.1	23.5	12:20	37.8	34	25.2	19:30	39.8	36.6	25.6	26:40	39.8	37.2	26.3	33:50	40	37.5	26.3
05:20	30.5	28.1	23.5	12:30	37.9	34	25.2	19:40	40.1	36.6	25.8	26:50	39.5	37.2	26.3	34:00	40	37.5	26.3
05:30	30.6	28.4	23.5	12:40	38.1	34	25.2	19:50	40.4	36.6	25.6	27:00	39.7	37.2	26.3	34:10	40.6	37.5	26.3
05:40	30.9	28.6	23.5	12:50	38.3	34.3	25.4	20:00	40.3	36.6	25.8	27:10	40	37.2	26.3	34:20	40.3	37.5	26.1
05:50	31.1	28.6	23.7	13:00	38.3	34.3	25.4	20:10	40	36.6	26.1	27:20	40.1	37.2	26.1	34:30	40.1	37.5	26.1
06:00	31.2	28.9	23.7	13:10	38.5	34.6	25.6	20:20	39.6	36.6	26.5	27:30	40.3	37	26.1	34:40	39.9	37.5	26.1
06:10	31.4	28.9	23.7	13:20	38.6	34.6	25.6	20:30	39.6	36.6	26.1	27:40	40.4	37.2	26.1	34:50	40.1	37.5	26.3
06:20	31.6	29.1	23.7	13:30	38.9	34.6	25.6	20:40	39.6	37	26.3	27:50	40.1	37.2	25.8	35:00	40.3	37.5	26.1
06:30	31.8	29.4	23.7	13:40	39.1	34.9	25.6	20:50	40.2	37	26.3	28:00	39.7	37.2	26.1				
06:40	31.9	29.4	23.7	13:50	39.1	34.9	25.6	21:00	40.6	37	26.3	28:10	39.6	37.2	26.1				
06:50	32.2	29.7	23.7	14:00	39.2	34.9	25.6	21:10	40.5	37	26.3	28:20	39.9	37.2	26.1				
07:00	32.3	29.7	24	14:10	39.4	35.3	25.4	21:20	40.3	37	26.1	28:30	40.3	37.5	26.1				

Anexo X. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 1 L/min, segunda repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.3	23.6	23.6	07:10	31.9	29.9	25	14:20	38.8	35.3	27	21:30	39.8	37.4	26.7	28:40	40.2	37.4	28
00:10	23.7	23.6	23.6	07:20	32.1	30.1	25	14:30	39.1	35.7	26.7	21:40	39.6	37.4	27.2	28:50	40.5	37.4	27.7
00:20	23.9	23.6	23.6	07:30	32.1	30.1	24.7	14:40	39.1	35.7	26.5	21:50	39.6	37.4	27.2	29:00	40.6	37.4	27.7
00:30	24	23.6	23.6	07:40	32.4	30.7	25	14:50	39.4	35.7	26.5	22:00	39.9	37.4	27.7	29:10	40.4	37.4	27.7
00:40	24.2	23.8	23.6	07:50	32.4	30.7	25	15:00	39.6	36	26.5	22:10	40.3	37.4	27.7	29:20	40.2	37.4	27.7
00:50	24.5	23.8	23.6	08:00	32.8	31	25	15:10	39.7	36	26.5	22:20	40.5	37.4	27.7	29:30	39.9	37.4	27.7
01:00	24.7	23.1	23.6	08:10	32.9	31	25.2	15:20	39.8	36	27	22:30	40.5	37.4	27.5	29:40	39.7	37.4	27.2
01:10	25	24.3	23.6	08:20	33.2	31.2	25.2	15:30	39.9	36.4	27	22:40	40.2	37.4	27.5	29:50	39.6	37.4	27.2
01:20	25	24.5	23.6	08:30	33.3	31.2	25.2	15:40	40	36.4	27	22:50	40	37.4	27.5	30:00	39.9	37.4	27.7
01:30	25.3	24.5	23.6	08:40	33.6	31.5	25.4	15:50	39.9	36.4	27	23:00	39.8	37.4	26.7	30:10	40.3	37.4	27.7
01:40	25.5	24.7	23.6	08:50	33.8	31.5	25.2	16:00	39.7	36.4	27	23:10	39.7	37.4	26.7	30:20	40.5	37.4	28
01:50	25.7	25	23.8	09:00	33.9	31.7	25.2	16:10	39.9	36.7	26.7	23:20	39.8	37.4	27.5	30:30	40.6	37.4	28
02:00	25.9	25.2	23.8	09:10	34	31.7	25.2	16:20	40.1	36.7	26.5	23:30	40.3	37.4	27.7	30:40	40.3	37.4	28
02:10	26.1	25.2	23.8	09:20	34.2	32	25.2	16:30	40	36.7	26.5	23:40	40.6	37.4	27.7	30:50	40	37.4	27.7
02:20	26.4	25.4	23.8	09:30	34.4	32	25.4	16:40	39.8	36.7	27	23:50	40.6	37.4	27.7	31:00	39.7	37.4	27.2
02:30	26.6	25.6	23.8	09:40	34.5	32.3	25.4	16:50	39.6	36.7	27	24:00	40.3	37.4	27.7	31:10	39.6	37.4	27.7
02:40	26.7	25.8	23.8	09:50	34.8	32.3	25.6	17:00	39.8	37	27.2	24:10	40.1	37.4	27.5	31:20	39.7	37.4	28
02:50	27	25.8	23.8	10:00	34.9	32.6	25.4	17:10	40.1	37	27.2	24:20	39.8	37.4	27.5	31:30	39.9	37.4	27.5
03:00	27.2	25	23.8	10:10	34.9	32.6	25.4	17:20	40.2	37	27	24:30	39.4	37.4	27.2	31:40	40.4	37.4	27.5
03:10	27.3	26.2	23.8	10:20	35	32.6	25.6	17:30	40.1	37	27	24:40	39.4	37.4	27	31:50	40.6	37.4	27.5
03:20	27.5	26.5	23.8	10:30	35.4	32.6	25.6	17:40	39.8	37	27	24:50	39.7	37.4	26.7	32:00	40.5	37.4	27.7
03:30	27.7	26.7	24	10:40	35.4	32.9	25.6	17:50	39.5	37	26.7	25:00	40.3	37.4	27	32:10	40.2	37.4	28
03:40	28	26.7	24	10:50	35.6	32.9	25.6	18:00	39.6	37	26.7	25:10	40.5	37.4	27.5	32:20	39.9	37.4	28
03:50	28.1	26.9	24	11:00	35.9	33.2	25.8	18:10	39.8	37	26.7	25:20	40.1	37.4	27.5	32:30	39.7	37.4	28
04:00	28.1	27.2	24	11:10	36	33.2	25.8	18:20	40.1	37	26.5	25:30	40.2	37.4	27.7	32:40	39.6	37.4	28.1
04:10	28.4	27.2	24	11:20	36.2	33.5	25.8	18:30	40.4	37	27	25:40	39.8	37.4	27.7	32:50	39.9	37.4	28
04:20	28.6	27.4	24.2	11:30	36.2	33.5	26.1	18:40	40.1	37	27.5	25:50	39.6	37.4	27.7	33:00	40.1	37.4	27.5
04:30	28.8	27.7	24.4	11:40	36.5	33.5	25.8	18:50	39.8	37	27.5	26:00	39.7	37.4	27.7	33:10	40.6	37.4	27.2
04:40	29	27.9	24.2	11:50	36.6	33.8	25.8	19:00	39.6	37	27.5	26:10	40.1	37.4	27.2	33:20	40.6	37.4	27.2
04:50	29.2	29.7	24.2	12:00	37	33.8	25.8	19:10	39.5	37.4	27	26:20	40.1	37.4	27.4	33:30	40.1	37.4	27.7
05:00	29.5	27.9	24.2	12:10	37.1	34.1	25.8	19:20	39.8	37.4	27.2	26:30	40.6	37.4	26.7	33:40	39.9	37.4	28.1
05:10	29.5	28.1	24.4	12:20	37.2	34.1	25.8	19:30	40.2	37.4	27.2	26:40	40.4	37.4	26.7	33:50	39.6	37.4	27.7
05:20	29.8	28.1	24.4	12:30	37.4	34.1	26.1	19:40	40.6	37	27.2	26:50	40	37.4	27.7	34:00	39.6	37.4	27.7
05:30	30	28.3	24.4	12:40	37.4	34.4	26.3	19:50	40.4	37	27.2	27:00	39.7	37.4	27.7	34:10	40.1	37.4	28
05:40	30.3	28.6	24.4	12:50	37.5	34.4	26.3	20:00	40.2	37.4	27.5	27:10	39.6	37.4	27.4	34:20	40.5	37.4	28
05:50	30.5	28.6	24.4	13:00	37.7	34.4	26.5	20:10	39.9	37.4	27.7	27:20	39.6	37.4	27.7	34:30	40.7	37.4	28
06:00	30.8	28.9	24.7	13:10	38	34.7	26.7	20:20	39.6	37.4	27.7	27:30	39.9	37.4	27.5	34:40	40.7	37.4	27.7
06:10	30.9	29.1	24.4	13:20	38.1	34.7	26.7	20:30	39.5	37.4	27.5	27:40	40.5	37.4	27.5	34:50	40.4	37.4	28
06:20	31.2	29.1	24.7	13:30	38.4	35	26.5	20:40	39.7	37.4	27.5	27:50	40.7	37.4	27	35:00	40	37.4	28
06:30	31.3	29.3	24.7	13:40	38.4	35	26.5	20:50	40.1	37.4	27.2	28:00	40.4	37.4	26.7				
06:40	31.4	29.3	24.7	13:50	38.4	35	26.5	21:00	40.4	37.4	27.2	28:10	40	37.4	26.7				
06:50	31.5	29.6	24.7	14:00	38.4	35	26.5	21:10	40.2	37.4	27.4	28:20	39.8	37.4	26.7				
07:00	31.6	29.6	24.7	14:10	38.6	35.3	26.7	21:20	40.2	37.4	26.7	28:30	39.8	37.4	27.7				

Anexo XI. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 1 L/min, tercera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.3	23.4	23.2	07:10	31.7	29.6	24.4	14:20	38.8	35	25.8	21:30	39.5	37	26.8	28:40	40	37.4	27
00:10	23.5	23.6	23.2	07:20	31.9	29.6	24.4	14:30	38.9	35.3	26.1	21:40	40.1	37	26.5	28:50	40.2	37.4	27
00:20	23.6	24.1	23.2	07:30	32.3	29.9	24.7	14:40	38.9	35.3	25.8	21:50	40.4	37	26.5	29:00	40.4	37.4	26.8
00:30	23.7	24.1	23.2	07:40	32.3	29.9	24.4	14:50	39.1	35.3	25.8	22:00	40.3	37	26.5	29:10	40.5	37.4	26.8
00:40	23.8	24.1	23.2	07:50	32.4	30.1	25	15:00	39.2	35.7	25.8	22:10	40.2	37	26.8	29:20	40.4	37.4	27.2
00:50	24	24.3	23.2	08:00	32.6	30.4	24.7	15:10	39.3	35.7	26.1	22:20	40	37	26.5	29:30	40.2	37.4	27
01:00	24.3	24.3	23.2	08:10	32.8	30.4	24.7	15:20	39.5	35.7	26.1	22:30	39.6	37	26.5	29:40	39.9	37.4	27
01:10	24.6	24.5	23.4	08:20	32.9	30.7	24.7	15:30	39.8	36	26.3	22:40	39.4	37	26.5	29:50	39.6	37.4	27
01:20	24.8	24.5	23.4	08:30	33.1	30.7	25	15:40	39.9	36	26.3	22:50	39.4	37.4	26.5	30:00	39.8	37.4	27
01:30	25.1	24.5	23.4	08:40	33.2	31	25	15:50	40.2	36	26.3	23:00	40	37	26.5	30:10	40.1	37.4	27.2
01:40	25.3	24.7	23.4	08:50	33.4	31	25	16:00	40.1	36.4	26.3	23:10	40.3	37	26.5	30:20	40.2	37.4	27.2
01:50	25.5	24.7	23.4	09:00	33.7	31.3	25	16:10	39.9	36.4	26.3	23:20	40.5	37	26.5	30:30	40.7	37.4	27
02:00	25.7	25	23.4	09:10	33.9	31.3	25	16:20	39.4	36.4	26.5	23:30	40.3	37	26.8	30:40	40.6	37.4	27
02:10	26	25.2	23.4	09:20	34	31.5	25.2	16:30	39.4	36.4	26.3	23:40	40.2	37.4	27	30:50	40.3	37.4	26.8
02:20	26.1	25.4	23.4	09:30	34.2	31.5	25	16:40	39.8	36.7	26.5	23:50	40	37.4	26.5	31:00	39.9	37.4	26.8
02:30	26.3	25.4	23.4	09:40	34.2	31.5	25.2	16:50	40	36.7	26.3	24:00	39.7	37.4	26.8	31:10	39.6	37.4	27.2
02:40	26.7	25.6	23.6	09:50	34.5	31.5	25.2	17:00	40.2	36.7	26.5	24:10	39.5	37.4	26.8	31:20	39.7	37.4	27.5
02:50	26.9	25.8	23.6	10:00	34.7	31.8	25.4	17:10	40	36.7	26.5	24:20	39.7	37.4	26.5	31:30	40	37.4	27
03:00	27.2	25.8	23.6	10:10	34.6	31.8	25.4	17:20	39.9	36.7	26.3	24:30	40.1	37.4	26.5	31:40	40.3	37.4	27
03:10	27.4	26	23.6	10:20	34.8	32.3	25.4	17:30	39.6	36.7	26.5	24:40	40.5	37.4	26.5	31:50	40.4	37.4	27
03:20	27.5	26.2	23.6	10:30	35.2	32.4	25.4	17:40	39.6	36.7	26.5	24:50	40.4	37.4	27.4	32:00	40.4	37.4	27
03:30	27.8	26.5	23.6	10:40	35.4	32.6	25.4	17:50	39.7	36.7	26.5	25:00	40.2	37.4	26.4	32:10	40.3	37.4	27.5
03:40	27.9	26.5	23.6	10:50	35.7	32.4	25.4	18:00	40.2	36.7	26.8	25:10	40.1	37.4	27	32:20	40	37.4	27.5
03:50	28.1	26.7	23.6	11:00	35.7	32.9	25.4	18:10	40.4	36.7	26.5	25:20	39.9	37.4	26.8	32:30	39.7	37.4	27.5
04:00	28.3	26.9	23.6	11:10	35.7	32.9	25.6	18:20	40.2	36.7	26.8	25:30	39.6	37.4	26.5	32:40	39.5	37.4	27.5
04:10	28.4	26.9	23.6	11:20	35.9	32.9	25.2	18:30	40.1	36.7	26.5	25:40	39.4	37.4	26.8	32:50	40.1	37.4	27
04:20	28.6	27.2	23.7	11:30	36.1	33.2	25.4	18:40	39.8	36.7	26.5	25:50	39.7	37.4	26.8	33:00	40.5	37.4	27
04:30	28.8	27.4	23.7	11:40	36.3	33.2	25.8	18:50	39.6	37	27	26:00	40.1	37.4	27.2	33:10	40.7	37.4	27.5
04:40	29	27.4	23.7	11:50	36.4	33.2	25.8	19:00	39.6	37	26.8	26:10	40.6	37.4	27.2	33:20	40.5	37.5	27
04:50	29.2	27.7	23.7	12:00	36.6	33.5	25.8	19:10	39.8	37	26.8	26:20	40.5	37.4	27	33:30	40.2	37.4	27
05:00	29.4	27.9	23.7	12:10	36.8	33.5	25.8	19:20	40.2	37	26.8	26:30	40.3	37.4	26.8	33:40	39.9	37.4	27
05:10	29.5	27.9	23.7	12:20	36.9	33.8	25.6	19:30	40.5	36.7	26.8	26:40	40	37.4	26.5	33:50	39.9	37.4	27
05:20	29.7	27.9	24	12:30	37.1	33.8	25.8	19:40	40.3	37	26.8	26:50	39.7	37.4	26.8	34:00	39.6	37.4	27.2
05:30	29.8	28.1	24	12:40	37.4	34.1	25.8	19:50	39.8	37	26.8	27:00	39.6	37.4	26.8	34:10	39.9	37.4	27.2
05:40	30.1	28.1	24	12:50	37.5	34.1	25.6	20:00	39.7	37	27	27:10	39.8	37.4	26.8	34:20	40.4	37.4	27
05:50	30.4	28.3	24.2	13:00	37.5	34.1	25.8	20:10	39.8	37	26.5	27:20	40.3	37.4	27.2	34:30	40.7	37.4	27.2
06:00	30.6	28.6	24.2	13:10	37.8	34.4	25.8	20:20	40.1	37	26.8	27:30	40.5	37.4	27	34:40	40.7	37.4	27
06:10	30.7	28.6	24.2	13:20	38.1	34.4	25.8	20:30	40.3	37	26.8	27:40	40.6	37.4	27	34:50	40.4	37.4	27
06:20	30.9	28.9	24.2	13:30	38.1	34.4	26.1	20:40	40.4	37	26.3	27:50	40.5	37.4	26.8	35:00	40.1	37.4	26.8
06:30	31.1	28.9	24.2	13:40	38.2	34.7	26.1	20:50	40.2	37	26.5	28:00	40.2	37.4	26.8				
06:40	31.2	29.1	24.2	13:50	38.4	34.7	26.1	21:00	40	37	27	28:10	39.9	37.4	27				
06:50	31.4	29.3	24.4	14:00	38.6	35	26.1	21:10	39.6	37	27	28:20	39.6	37.4	27.5				
07:00	31.6	29.3	24.4	14:10	38.7	35	26.1	21:20	39.4	37	26.8	28:30	39.5	37.4	27.5				

Anexo XII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 0.5 L/min, primera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.2	23.4	23.6	07:10	33.8	28.6	26.5	14:20	40.2	31.7	30	21:30	40.2	31.7	30.2	28:40	39.8	31.7	30.5
00:10	23.7	23.4	23.6	07:20	34.2	28.6	26.8	14:30	40.1	31.7	30	21:40	40.3	31.7	30.2	28:50	40	31.7	30.5
00:20	24	23.2	23.6	07:30	34.3	28.8	26.8	14:40	40.1	31.7	30	21:50	40.3	31.7	30.2	29:00	40.3	31.7	30.5
00:30	24.2	23.2	23.6	07:40	34.5	28.8	26.8	14:50	39.9	31.7	30	22:00	40.1	31.7	30.2	29:10	40.3	31.7	30.5
00:40	24.3	23.2	23.6	07:50	34.7	29	27	15:00	39.5	31.7	30	22:10	39.7	31.7	30.2	29:20	40.3	31.7	30.5
00:50	24.5	23.2	23.6	08:00	34.8	29	27	15:10	39.5	31.7	30	22:20	39.5	31.7	30.2	29:30	40.2	31.7	30.5
01:00	24.8	23.2	23.6	08:10	34.9	29	27	15:20	39.7	31.5	30	22:30	39.9	31.7	30.2	29:40	39.8	31.7	30.5
01:10	25.1	23.2	23.6	08:20	35.2	29.3	27.2	15:30	40.3	31.5	30	22:40	40.3	31.5	30.2	29:50	39.6	31.7	30.5
01:20	25.2	23.2	23.6	08:30	35.5	29.3	27.2	15:40	40.2	31.5	30	22:50	40.5	31.5	30.2	30:00	40	31.7	30.5
01:30	25.5	23.6	23.6	08:40	35.7	29.3	27.2	15:50	40.2	31.5	30	23:00	40.5	31.5	30.2	30:10	40.1	31.7	30.5
01:40	25.7	23.8	23.6	08:50	36	29.6	27.5	16:00	40	31.5	30	23:10	40.2	31.5	30.2	30:20	40.3	31.7	30.5
01:50	25.9	23.8	23.6	09:00	36.2	29.6	27.5	16:10	39.7	31.5	30	23:20	39.9	31.5	30.2	30:30	40.2	31.7	30.5
02:00	26.1	24.1	23.6	09:10	36.4	29.6	27.5	16:20	39.7	31.5	30	23:30	39.7	31.5	30.2	30:40	40	31.7	30.5
02:10	26.1	24.3	23.6	09:20	36.5	29.6	27.5	16:30	40.1	31.5	30	23:40	39.7	31.5	30.2	30:50	39.7	31.7	30.5
02:20	26.5	24.5	23.6	09:30	36.7	29.6	27.7	16:40	40.4	31.7	30	23:50	40	31.5	30.2	31:00	39.6	31.7	30.5
02:30	26.9	24.5	23.6	09:40	37.2	29.9	27.7	16:50	40.4	31.7	30	24:00	40.3	31.7	30.2	31:10	40.1	31.7	30.5
02:40	27.1	24.7	23.8	09:50	37.4	29.9	27.7	17:00	40.2	31.7	30	24:10	40.5	31.7	30.2	31:20	40.6	31.7	30.5
02:50	27.5	25	23.8	10:00	37.6	29.9	28	17:10	39.9	31.7	30	24:20	40.6	31.7	30.2	31:30	40.7	31.7	30.5
03:00	27.8	25	23.8	10:10	37.9	30.1	28.1	17:20	39.6	31.7	30	24:30	40.5	31.7	30.2	31:40	40.7	31.7	30.5
03:10	27.9	25.2	23.8	10:20	37.9	30.1	28.1	17:30	39.8	31.7	30	24:40	40.1	31.7	30.2	31:50	40.5	31.7	30.5
03:20	28.1	25.4	24	10:30	38	30.1	28.1	17:40	40.2	31.7	30	24:50	39.9	31.7	30.2	32:00	40	31.7	30.5
03:30	28.4	25.6	24	10:40	38.3	30.4	28.1	17:50	40.3	31.7	30.2	25:00	39.8	31.7	30.2	32:10	39.7	31.7	30.5
03:40	28.4	25.8	24.2	10:50	38.5	30.4	28.4	18:00	40.1	31.7	30.2	25:10	39.8	31.7	30.2	32:20	39.8	31.7	30.5
03:50	28.7	26	24.2	11:00	38.7	30.7	28.4	18:10	40	31.7	30.2	25:20	40.1	31.7	30.2	32:30	40.2	31.7	30.5
04:00	28.8	26	24.2	11:10	39	30.7	28.4	18:20	39.7	31.7	30.2	25:30	40.3	31.7	30.2	32:40	40.5	31.7	30.5
04:10	29.2	26.2	24.4	11:20	39.2	30.7	28.4	18:30	39.6	31.7	30.2	25:40	40.4	31.7	30.5	32:50	40.6	31.7	30.5
04:20	29.7	26.2	24.7	11:30	39.4	31	28.7	18:40	39.9	31.7	30.2	25:50	40.5	31.7	30.5	33:00	40.3	31.7	30.5
04:30	30	26.7	24.7	11:40	39.5	31	28.7	18:50	40.2	31.7	30.2	26:00	39.9	31.7	30.5	33:10	40	31.7	30.5
04:40	30.2	26.7	25	11:50	39.7	31.2	29	19:00	40.4	31.7	30.2	26:10	39.6	31.7	30.5	33:20	39.6	31.7	30.5
04:50	30.4	26.9	25	12:00	39.9	31.2	29	19:10	40.4	31.7	30.2	26:20	39.9	31.7	30.5	33:30	39.8	31.7	30.5
05:00	30.7	26.9	25.2	12:10	40.1	31.2	29	19:20	40.3	31.7	30.2	26:30	40.3	31.7	30.5	33:40	40.2	31.7	30.5
05:10	30.9	27.2	25.2	12:20	40.1	31.5	29.1	19:30	40.1	31.7	30.2	26:40	40.6	31.7	30.5	33:50	40.4	31.7	30.5
05:20	31.2	27.4	25.4	12:30	40	31.5	29.1	19:40	39.8	31.7	30.2	26:50	40.7	31.7	30.5	34:00	40.6	31.7	30.5
05:30	31.5	27.4	25.4	12:40	39.9	31.5	29.4	19:50	39.7	31.7	30.2	27:00	40.5	31.7	30.5	34:10	40.3	31.7	30.5
05:40	31.8	27.6	25.6	12:50	39.7	31.5	29.4	20:00	39.9	31.7	30.2	27:10	40.2	31.7	30.5	34:20	40.1	31.7	30.5
05:50	31.9	27.6	25.6	13:00	39.8	31.7	29.4	20:10	40.2	31.7	30.2	27:20	39.8	31.7	30.5	34:30	39.9	31.7	30.5
06:00	32.1	27.9	25.8	13:10	40	31.7	29.4	20:20	40.5	31.7	30.2	27:30	39.5	31.7	30.5	34:40	39.7	31.7	30.5
06:10	32.3	27.9	25.8	13:20	40.1	31.7	29.4	20:30	40.6	31.7	30.2	27:40	39.8	31.7	30.5	34:50	39.8	31.7	30.5
06:20	32.5	28	26.1	13:30	40.1	31.7	29.7	20:40	40.4	31.7	30.2	27:50	40.1	31.7	30.5	35:00	40.2	32	30.5
06:30	32.8	28	26.1	13:40	40.1	31.7	29.7	20:50	40.1	31.7	30.2	28:00	40.4	31.7	30.5				
06:40	33	28.3	26.1	13:50	39.8	31.7	29.7	21:00	39.8	31.7	30.2	28:10	40.6	31.7	30.5				
06:50	33.3	28.3	26.3	14:00	39.7	31.7	29.7	21:10	39.7	31.7	30.2	28:20	40.4	31.7	30.5				
07:00	33.5	28.3	26.3	14:10	40	31.7	30	21:20	40	31.7	30.2	28:30	39.9	31.7	30.5				

Anexo XIII. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 0.5 L/min, segunda repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.4	23.4	23.2	07:10	31.9	28.8	24.2	14:20	39.9	34.7	25.8	21:30	40.5	36.7	26.8	28:40	40.6	37	27.2
00:10	23.4	23.8	23.6	07:20	32.1	28.8	24.2	14:30	39.8	34.7	25.8	21:40	40.4	36.7	26.8	28:50	40.6	37	27.2
00:20	23.4	23.8	23.6	07:30	32.3	29	24.2	14:40	39.8	34.7	25.8	21:50	40.3	36.7	26.8	29:00	40.4	37	26.8
00:30	23.4	24.5	23.6	07:40	32.6	29.3	24.4	14:50	40.1	35	25.8	22:00	40.1	36.7	26.8	29:10	40.2	37	27
00:40	23.5	24.5	23.6	07:50	32.7	29.3	24.4	15:00	40.2	35	25.8	22:10	39.9	36.7	26.8	29:20	39.9	37.4	27
00:50	23.5	24.7	23.6	08:00	32.8	29.6	24.4	15:10	40	35	25.8	22:20	39.6	36.7	27	29:30	39.8	37.4	27
01:00	23.7	24.7	23.6	08:10	33.2	29.9	24.4	15:20	39.9	35.3	25.8	22:30	39.7	36.7	27	29:40	40	37.4	27
01:10	23.7	24.7	23.6	08:20	33.2	29.9	24.7	15:30	39.8	35.3	26.1	22:40	40.3	36.7	27	29:50	40.3	37.4	27
01:20	24.1	24.7	23.8	08:30	33.3	30.1	24.7	15:40	39.8	35.3	26.1	22:50	40.6	36.7	27	30:00	40.3	37.4	27
01:30	24.3	24.7	23.8	08:40	33.6	30.4	24.7	15:50	40	35.3	26.1	23:00	40.6	36.7	27	30:10	40.2	37.4	27
01:40	24.4	24.7	23.8	08:50	33.9	30.4	24.9	16:00	40.3	35.7	26.1	23:10	40.6	36.7	26.8	30:20	40.2	37.4	27
01:50	24.6	24.7	23.8	09:00	34.1	30.7	25	16:10	40.2	35.7	26.3	23:20	40.4	36.7	26.8	30:30	40.2	37.4	27
02:00	24.9	24.7	23.8	09:10	34.3	30.7	25	16:20	40.2	35.7	26.5	23:30	40.2	36.7	26.8	30:40	40	37.4	26.8
02:10	25.2	24.7	23.8	09:20	34.3	31	25	16:30	40.2	35.7	26.3	23:40	39.8	36.7	27.2	30:50	39.8	37.4	26.8
02:20	25.5	24.7	23.8	09:30	34.5	31	25.2	16:40	39.8	35.7	26.3	23:50	39.7	37	27.2	31:00	39.8	37.4	26.8
02:30	25.7	24.7	23.8	09:40	34.9	31	25.2	16:50	39.5	35.7	26.3	24:00	40	37	27.2	31:10	40	37.4	27
02:40	26.1	25	23.8	09:50	35.2	31.2	25.2	17:00	39.8	36	26.3	24:10	40.5	37	27.2	31:20	40.6	37.4	27
02:50	26.3	25	23.8	10:00	35.5	31.5	25.2	17:10	40.1	36	26.3	24:20	40.6	37	27.2	31:30	40.7	37.4	27.2
03:00	26.5	25.2	23.8	10:10	35.5	31.7	25	17:20	40.2	36	26.3	24:30	40.6	37	27.2	31:40	40.6	37.4	27
03:10	26.7	25.4	23.8	10:20	35.7	31.7	25	17:30	40.2	36	26.3	24:40	40.5	37	27.5	31:50	40.5	37.4	27.2
03:20	26.9	25.6	23.8	10:30	35.8	31.7	25.2	17:40	40.2	36	26.3	24:50	40.3	37	27.5	32:00	40.3	37.4	27.5
03:30	27.2	25.6	23.8	10:40	36.1	32	25.2	17:50	40.1	36	26.3	25:00	40	37	27.5	32:10	40	37.4	27.2
03:40	27.6	25.6	23.8	10:50	36.2	32	25.4	18:00	39.7	36.4	26.5	25:10	39.8	37	27.2	32:20	39.8	37.4	27
03:50	27.9	26	23.8	11:00	36.5	32.3	25.4	18:10	39.5	36.4	26.5	25:20	39.8	37	27.2	32:30	39.7	37.4	27
04:00	28	26.2	23.8	11:10	36.8	32.6	25.4	18:20	39.8	36.4	26.5	25:30	40.4	37	27	32:40	40.1	37.4	27
04:10	28.1	26.2	23.8	11:20	37	32.6	25.4	18:30	40.3	36.4	26.5	25:40	40.8	37	27	32:50	40.6	37.4	26.8
04:20	28.2	26.5	23.8	11:30	37.1	32.6	25.4	18:40	40.4	36.4	26.8	25:50	40.7	37	27	33:00	40.7	37.4	26.8
04:30	28.6	26.7	23.8	11:40	37.2	32.9	25.4	18:50	40.4	36.4	26.8	26:00	40.6	37	26.8	33:10	40.6	37.4	26.8
04:40	28.9	26.7	23.8	11:50	37.6	32.9	25.4	19:00	40.4	36.4	26.8	26:10	40.4	37	27	33:20	40.5	37.4	26.8
04:50	29.1	26.9	23.8	12:00	37.8	33.2	25.6	19:10	40.2	36.4	27	26:20	40.2	37	27	33:30	40.4	37.4	26.8
05:00	29.4	27.2	24	12:10	37.8	33.2	25.6	19:20	39.9	36.4	27	26:30	39.9	37	27	33:40	40.1	37.4	26.8
05:10	29.6	27.2	24	12:20	37.9	33.2	25.4	19:30	39.6	36.4	26.8	26:40	39.8	37	27	33:50	39.9	37.4	26.8
05:20	29.8	27.4	24	12:30	38	33.5	25.4	19:40	39.7	36.4	26.5	26:50	40	37	27	34:00	39.8	37.4	26.8
05:30	29.9	27.6	24	12:40	38.3	33.5	25.6	19:50	40.3	36.4	26.5	27:00	40.2	37	27	34:10	40.2	37.4	26.8
05:40	30.1	27.6	24	12:50	38.3	33.5	25.4	20:00	40.7	36.7	26.5	27:10	40.4	37	27	34:20	40.4	37.4	26.8
05:50	30.4	27.6	24	13:00	38.6	33.8	25.4	20:10	40.6	36.7	26.8	27:20	40.4	37	27	34:30	40.6	37.4	26.8
06:00	30.6	27.9	24	13:10	38.7	33.8	25.6	20:20	40.5	36.7	27	27:30	40.3	37	27	34:40	40.5	37.4	26.8
06:10	30.8	28	24	13:20	39.1	34.1	25.6	20:30	40.4	36.7	27	27:40	40.1	37	27	34:50	40.4	37.4	27
06:20	31	28	24	13:30	39.2	34.1	25.4	20:40	40.1	36.7	27	27:50	39.8	37	27	35:00	40.2	37.4	27
06:30	31	28.3	24	13:40	39.6	34.1	25.4	20:50	39.8	36.7	27	28:00	39.8	37	27				
06:40	31.1	28.3	24	13:50	39.8	34.4	25.6	21:00	39.6	36.7	27	28:10	40	37	27				
06:50	31.4	28.6	24.2	14:00	40	34.4	25.4	21:10	39.8	36.7	26.8	28:20	40.5	37	27				
07:00	31.6	28.6	24.2	14:10	40	34.4	25.6	21:20	40.2	36.7	26.8	28:30	40.6	37	27.2				

Anexo XIV. Medición de temperaturas T1, T2 y T3 a través del tiempo con un flujo constante de 0.5 L/min, tercera repetición.

Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3	Tiempo	T1	T2	T3
00:00	23.2	23.8	23.4	07:10	33	29.6	24.4	14:20	40.1	35.6	26.3	21:30	39.8	36.6	27.4	28:40	39.9	36.9	27.4
00:10	23.6	23.4	23.8	07:20	33.3	29.6	24.4	14:30	40	35.6	26.3	21:40	39.8	36.6	27.2	28:50	39.9	36.9	27.2
00:20	23.4	23.4	23.8	07:30	33.5	30	24.4	14:40	40	36	26.3	21:50	40.3	36.6	27.2	29:00	40.2	36.9	27.2
00:30	24.1	23.4	23.8	07:40	33.7	30.3	24.7	14:50	39.8	36	26.3	22:00	40.5	36.6	27.2	29:10	40.3	36.9	27.2
00:40	24.2	23.4	23.8	07:50	33.9	30.3	24.7	15:00	39.7	36	26.5	22:10	40.4	36.6	27.2	29:20	40.4	36.9	27.4
00:50	24.4	23.4	23.8	08:00	34.1	30.6	24.7	15:10	39.8	36	26.7	22:20	40.1	36.6	27.2	29:30	40.1	36.9	27.7
01:00	24.6	23.4	23.8	08:10	34.3	30.6	24.7	15:20	39.9	36.2	27	22:30	40	36.6	27.2	29:40	40	36.9	27.7
01:10	24.9	23.4	23.8	08:20	34.6	30.9	24.7	15:30	40.1	36.2	27	22:40	39.8	36.6	27.2	29:50	39.8	36.9	27.7
01:20	25.3	23.4	23.8	08:30	34.8	30.9	25	15:40	40.2	36.2	27	22:50	39.8	36.6	27.2	30:00	39.7	36.9	27.7
01:30	25.6	23.6	23.8	08:40	35	31.1	25	15:50	40.2	36.2	27	23:00	40.1	36.6	27.2	30:10	40.1	36.9	27.7
01:40	25.8	23.8	23.8	08:50	35.2	31.4	25	16:00	40	36.2	27	23:10	40.3	36.6	27.2	30:20	40.4	36.9	27.4
01:50	26.2	24.3	23.8	09:00	35.4	31.4	25	16:10	39.9	36.2	27	23:20	40.2	36.6	27.2	30:30	40.4	36.9	27.7
02:00	26.4	24.3	23.8	09:10	35.4	31.7	25	16:20	39.9	36.2	27	23:30	40.2	36.6	27	30:40	40.2	36.9	27.7
02:10	26.6	24.5	23.8	09:20	35.6	31.7	25.2	16:30	40.1	36.2	27	23:40	40.1	36.6	27	30:50	40	36.9	27.4
02:20	26.9	24.7	23.8	09:30	35.8	32	25.2	16:40	40.3	36.2	27	23:50	39.9	36.6	27.4	31:00	39.8	36.9	27.4
02:30	27.2	24.7	23.8	09:40	36	32	25.4	16:50	40.2	36.2	27	24:00	39.8	36.6	27.7	31:10	40.1	36.9	27.4
02:40	27.4	25	23.8	09:50	36.2	32.2	25.4	17:00	40	36.2	27	24:10	40.2	36.6	27.7	31:20	40.5	36.9	27.4
02:50	27.6	25.2	23.8	10:00	36.3	32.2	25.4	17:10	39.8	36.2	27.2	24:20	40.4	36.9	27.7	31:30	40.6	36.9	27.4
03:00	27.7	25.4	24.1	10:10	36.5	32.5	25.4	17:20	39.9	36.2	27	24:30	40.3	36.9	27.7	31:40	40.3	36.9	27.4
03:10	28	25.6	24.1	10:20	36.8	32.5	25.4	17:30	40.2	36.2	27	24:40	40.2	36.9	27.7	31:50	40.2	36.9	27.4
03:20	28.2	25.8	24.1	10:30	37	32.9	25.4	17:40	40.3	36.6	27	24:50	40	36.9	27.7	32:00	40	36.9	27.4
03:30	28.5	26	24.1	10:40	37	32.9	25.6	17:50	40.1	36.6	27.2	25:00	39.9	36.9	27.7	32:10	39.8	36.9	27.4
03:40	28.8	26.2	24.1	10:50	37.1	32.9	25.6	18:00	39.9	36.6	27.2	25:10	39.7	36.9	27.7	32:20	39.8	36.9	27.4
03:50	29	26.2	24.1	11:00	37.3	33.1	25.8	18:10	39.9	36.6	27.2	25:20	40.1	36.9	27.4	32:30	40.2	36.9	27.4
04:00	29.1	26.5	24.1	11:10	37.5	33.1	25.8	18:20	40.1	36.6	27.2	25:30	40.4	36.9	27.4	32:40	40.5	36.9	27.4
04:10	29.4	26.7	24.1	11:20	37.7	33.1	25.8	18:30	40.2	36.6	27.2	25:40	40.4	36.9	27.4	32:50	40.6	36.9	27.4
04:20	29.7	26.9	24.1	11:30	37.9	33.4	25.8	18:40	40.2	36.6	27.2	25:50	40.2	36.9	27.4	33:00	40.2	36.9	27.7
04:30	29.8	27.2	24.1	11:40	38.1	33.4	25.8	18:50	39.9	36.6	27.2	26:00	40.1	36.9	27.4	33:10	40.2	36.9	27.7
04:40	30	27.2	24.1	11:50	38.2	33.7	25.8	19:00	39.9	36.6	27.2	26:10	40	36.9	27.4	33:20	40	36.9	27.4
04:50	30.3	27.4	24.1	12:00	38.4	33.7	26	19:10	40.1	36.6	27.2	26:20	39.8	36.9	27.4	33:30	39.9	36.9	27.4
05:00	30.6	27.6	24.1	12:10	38.5	34	26	19:20	40.2	36.6	27.2	26:30	39.8	36.9	27.4	33:40	40	36.9	27.4
05:10	30.8	27.6	24.1	12:20	38.7	34	26	19:30	40.3	36.6	27.2	26:40	40.3	36.9	27.4	33:50	40.4	36.9	27.4
05:20	30.9	27.9	24.1	12:30	38.9	34.3	26	19:40	40.1	36.6	27.2	26:50	40.5	36.9	27.4	34:00	40.5	36.9	27.4
05:30	31	28	24.1	12:40	39.1	34.3	26	19:50	40.1	36.6	27.2	27:00	40.4	36.9	27.4	34:10	40.5	36.9	27.4
05:40	31.1	28	24.1	12:50	39.2	34.3	26	20:00	39.9	36.6	27.2	27:10	40.2	36.9	27.2	34:20	40.3	36.9	27.4
05:50	31.3	28.3	24.1	13:00	39.3	34.6	26.3	20:10	39.7	36.6	27	27:20	40.1	36.9	27.4	34:30	40.1	36.9	27.4
06:00	31.6	28.3	24.2	13:10	39.4	34.6	26	20:20	39.7	36.6	27	27:30	39.8	36.9	27.2	34:40	40.1	36.9	27.4
06:10	31.9	28.6	24.2	13:20	39.6	35	26	20:30	40.2	36.6	26.7	27:40	39.9	36.9	27.4	34:50	40	36.9	27.4
06:20	32.2	28.6	24.2	13:30	39.7	35	26	20:40	40.4	36.6	26.7	27:50	40.3	36.9	27.2	35:00	39.7	36.9	27.4
06:30	32.3	28.8	24.2	13:40	39.8	35	26	20:50	40.3	36.6	27.2	28:00	40.5	36.9	27.2				
06:40	32.5	29	24.2	13:50	40.1	35.3	26	21:00	40.1	36.6	27.4	28:10	40.5	36.9	27.4				
06:50	32.6	29	24.2	14:00	40.2	35.3	26.3	21:10	40.1	36.6	27.4	28:20	40.2	36.9	27.4				
07:00	32.7	29.3	24.4	14:10	40.2	35.6	26.3	21:20	40	36.6	27.4	28:30	40	36.9	27.4				

Anexo XV. Código para el análisis de las temperaturas T1, T2 y T3 para ejecución con RStudio.

```

1 library(readxl)
2 library(agricolae)
3 library(Hmisc)
4 flu <- read_excel("Tareas/Intercambiador de Calor de Placas y Marcos/pflujo.xlsx")
5 #ANOVA de cada flujo
6 #T1
7 t.a=flu$T1_3
8 t.b=flu$T1_2
9 t.c=flu$T1_1
10 t.d=flu$T1_0.5
11 y=c(t.a,t.b,t.c,t.d)
12 tratamiento<- rep(1:4, each = 211)
13 tratamiento <- gl(4, 211, labels = c("3 L/min", "2 L/min","1 L/min","0.5 L/min"))
14 split(y, tratamiento)
15 tapply(y, tratamiento, summary)
16 plot(y ~ tratamiento, xlab="Flujos",ylab="Temp. / °C",main="T1: Variación de la Temperatura del agua dentro del deposito del BT")
17 p.aov <- aov(y ~ tratamiento)
18 summary(p.aov)
19 comparison<-LSD.test(p.aov,"tratamiento",main="y.dealt with different solventes")
20 LSD.test(p.aov,"tratamiento",alpha=0.05,console=TRUE)
21
22 #T2
23 t.a=flu$T2_3
24 t.b=flu$T2_2
25 t.c=flu$T2_1
26 t.d=flu$T2_0.5
27 y=c(t.a,t.b,t.c,t.d)
28 tratamiento<- rep(1:4, each = 211)
29 tratamiento <- gl(4, 211, labels = c("3 L/min", "2 L/min","1 L/min","0.5 L/min"))
30 split(y, tratamiento)
31 tapply(y, tratamiento, summary)
32 plot(y ~ tratamiento, xlab="Flujos",ylab="Temp. / °C",main="T2: Variación de la temperatura del agua en F2")
33 p.aov <- aov(y ~ tratamiento)
34 summary(p.aov)
35 comparison<-LSD.test(p.aov,"tratamiento",main="y.dealt with different solventes")
36 LSD.test(p.aov,"tratamiento",alpha=0.05,console=TRUE)
37
38 #T3
39 t.a=flu$T3_3
40 t.b=flu$T3_2
41 t.c=flu$T3_1
42 t.d=flu$T3_0.5
43 y=c(t.a,t.b,t.c,t.d)
44 tratamiento<- rep(1:4, each = 211)
45 tratamiento <- gl(4, 211, labels = c("3 L/min", "2 L/min","1 L/min","0.5 L/min"))
46 split(y, tratamiento)
47 tapply(y, tratamiento, summary)
48 plot(y ~ tratamiento, xlab="Flujos",ylab="Temp. / °C",main="T3: Variación de la temperatura del agua en F1")
49 p.aov <- aov(y ~ tratamiento)
50 summary(p.aov)
51 comparison<-LSD.test(p.aov,"tratamiento",main="y.dealt with different solventes")
52 LSD.test(p.aov,"tratamiento",alpha=0.05,console=TRUE)

```

Anexo XVI. Manual de operación y mantenimiento del prototipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.



**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA EL
PROTOTIPO DE DINÁMICA DE FLUIDOS E
INTERCAMBIO DE CALOR.**

Contenido.	
Introducción	1
Objetivos	1
Alcance	1
Descripción general de los equipos.	1
Diseño del equipo.	2
Descripción del modo de operación.	2
Baño María de temperatura constante con recirculación.	3
Especificaciones.	3
Precauciones.	4
Condiciones de empleo.	4
Mantenimiento.	5
Intercambiador de calor de placas.	5
Especificaciones.	5
Componentes.	5
Condiciones de empleo.	5
Mantenimiento.	6
Rotámetros.	6
Válvula de compuerta.	7
Tapones de goma con orificio.	7
Termómetros.	7
Mangueras.	8
Tubería.	9
Adaptadores Macho.	10
Adaptadores Hembra.	10
Codos.	11
Adaptadores de inserción hembra.	11
Tuercas unión.	12
Reducciones.	12
Abrazaderas de acero.	13



Introducción

El presente manual está dirigido a todo aquel alumnado, personal docente y administrativo que necesite operar o proporcionar mantenimiento preventivo a la instalación del intercambiador de calor a placas con el baño de temperatura constante. Este manual ha sido desarrollado con el fin de apoyar en la comprensión de los requerimientos técnicos relacionados con dicha instalación, operación y mantenimiento; lo cual resulta de gran importancia para el estudio y enseñanza de ciertos temas dentro del aspecto académico como lo pueden ser: termodinámica, componentes de equipo industrial, fenómenos de transporte, etc.

En el manual se describen ambos equipos, sus componentes y sus principales funciones. Es importante hacer notar que este manual no pretende ser un sustituto de los manuales emitidos por los fabricantes de los equipos, sino por el contrario, este funciona como un complemento de ellos y tiene la finalidad de hacer más cómoda la operación del intercambiador de calor y el baño de temperatura constante de manera simultánea.

Objetivos

- Describir la operación del intercambiador de calor a placas, el baño de temperatura constante, rotámetros y demás accesorios de la instalación.
- Mostrar al operador el uso, mantenimiento y cuidado adecuado de ambos equipos fomentando el seguimiento de las recomendaciones emitidas por los fabricantes

Alcance

El presente manual aplica a todo el alumnado o docente que opera o proporciona mantenimiento preventivo a el equipo de intercambio de calor y dinámica de fluidos.

Descripción general de los equipos.

El quipo permite el estudio experimental y teórico del intercambio de calor entre líquidos, incluyendo el estudio de las mediciones del caudal y mediciones de caudal por medio de rotámetros. Para la comparación de datos teóricos y prácticos, el equipo permite tener medidas de temperaturas a la salida y entrada del intercambiador de calor por medio de termómetros de mercurio.



Diseño del equipo.

Como puede observarse en el diagrama de la figura 1, el equipo cuenta con un intercambiador de calor de placas empacadas, un baño termostático con agua recirculante, dos rotámetros para la medición de flujo, dos válvulas de compuerta para la regulación de las velocidades de los flujos y cuatro termómetros para la medición de las temperaturas en las dos entradas y salidas del intercambiador.

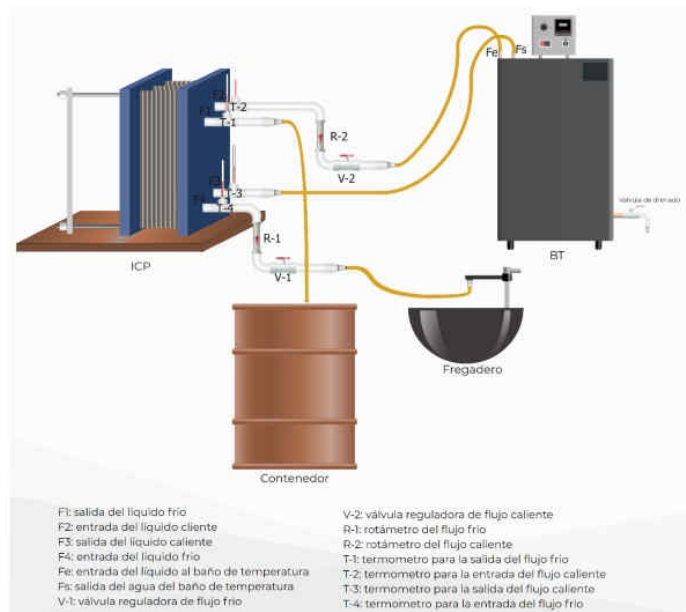


Figura 1: Diagrama del equipo de dinámica de fluidos e intercambio de calor.

Descripción del modo de operación.

Hasta el momento el equipo está diseñado para funcionar únicamente con agua. Para la preparación y la operación del mismo se deben de seguir las siguientes indicaciones:

1. Cargar el baño termostático con agua, de 5 litros en adelante.



2. Verificar que ambas válvulas de compuerta dentro de los rotámetros se encuentren completamente cerradas.
3. Conectar las entradas de ambas corrientes (fría y caliente) a las correspondientes entradas del intercambiador.
4. Disponer la salida del flujo frío del agua (en un contenedor o en un equipo tercero donde se requiera su uso)
5. Conectar la salida del flujo caliente del agua a la entrada del baño de temperatura constante para su recirculación.
6. Abrir el paso del flujo del agua fría y ajustar con la válvula de compuerta el caudal deseado.
7. Una vez estabilizado el flotador del flujo de agua fría, encender la bomba del baño termostático y ajustar el flujo del agua caliente.
8. Cuando los dos flotadores se encuentren estabilizados en los caudales deseados por el operador, realizar la programación del baño termostático.
9. Observar y tomar nota del cambio de las temperaturas en las cuatro entradas del intercambiador y en el interior del baño.
10. Esperar a que el equipo se estabilice.
11. Una vez terminada la operación del equipo, apagar el baño termostático y esperar a que el calor del agua caliente se disipe en su mayoría.
12. Cerrar el paso de agua fría y caliente para ambas entradas.
13. Desconectar las cuatro entradas del intercambiador y dejar que se drene el interior.
14. Vaciar el interior del baño termostático abriendo la válvula de drenado que se encuentra en la parte trasera del equipo.

Baño María de temperatura constante con recirculación.

Especificaciones.

Baño maría con circulación forzada de agua, para baja temperatura, con control digital.



1. Capacidad de 11L.
2. Control electrónico digital programable de temperatura desde -30 hasta 100°C (a nivel de mar).
3. Estabilidad de temperatura $\pm 1^\circ\text{C}$.
4. Resolución de 0.1°C
5. Exactitud de 0.05°C
6. Con despliegue de la temperatura seleccionada actual digital calibrado.
7. Sistema de protección por sobre temperatura.
8. Interruptor de encendido y selector de temperatura de trabajo digital.
9. Interiores: Tina de acero inoxidable, abertura con tapa de acrílico para introducir recipientes.

Precauciones.

El daño a los equipos puede ser causado por:

1. Fuerzas externas.
2. Corrosión.
3. Acción química.
4. Ausencia de agua
5. Exposición de las superficies a los siguientes productos químicos: azida de sodio, ácido sulfúrico, yodo, agua regia y cloruro férrico.
6. Corto circuito, provocado por fugas en las conexiones del baño.

Condiciones de empleo.

Si el equipo tiene varios días sin utilizarse, es importante que se cargue el baño de temperatura con agua, posteriormente se dirija la salida del agua a un recipiente y se encienda la bomba para que el agua estancada dentro de las tuberías del equipo pueda circular y salir. Después de eso se vacía el baño termostático para poderse conectar de nuevo con el intercambiador y operar el equipo de manera normal.

El agua fría debe de hacerse circular primero por el intercambiador antes del agua caliente.

Las inserciones de las mangueras y las tuercas unión deben de tener sus respectivos empaques antes de que fluya el agua a través de los tubos y mangueras.



Los rotámetros deben de vaciarse al terminar de utilizar el equipo.

Mantenimiento.

En la parte trasera del equipo existe una llave para drenar el líquido que se encuentra en el interior del depósito y poder realizar la limpieza del mismo.

El depósito debe de ser limpiado con agua jabonosa, enjuagar con agua y secar.

Para limpiar las superficies del equipo del óxido de hierro se deberá exponer las superficies a una solución de ácido nítrico al 20% y ácido clorhídrico en sol. Al 2%. Después enjuagar con agua y dejar secar.

Intercambiador de calor de placas.

Especificaciones.

El modelo del intercambiador de calor tiene una temperatura máxima de diseño de 100°C, un factor de apriete "A" de mm, una superficie de construcción de 1 m² y una presión máxima de prueba de 9.0 kg/cm².

Componentes.

Bastidor.

El bastidor consiste en una placa fija, una barra guía, una barra de carga y una columna.

Placas.

El paquete de las placas consiste de placas corrugadas con un canal perimetral para la colocación de los empaques.

Empaques.

Los empaques pueden ser in Viton, Nitrilo o EPDM. Los empaques utilizados para este equipo son los empaques tipo clip.

Condiciones de empleo.



El lado caliente no debe de fluir a través del intercambiador sin que el lado frío fluya antes.

Es preferible instalar una bandeja para el goteo por debajo del intercambiador para prevenir filtraciones sobre el piso y/o instalaciones eléctricas.

Cuando el intercambiador de calor este siendo utilizado con temperaturas por encima de los 60°C o con fluidos agresivos, se recomienda que se cubra el intercambiador de calor o se señalice la advertencia.

Mantenimiento.

La limpieza en sitio se utiliza para limpiar placas incrustadas. Consiste, en hacer circular a través del equipo una solución que, debido a sus propiedades, remuevan la suciedad de las placas sin la necesidad de desarmar el equipo.

El aceite y grasa pueden ser removidos con un solvente suave libre de cloro. La cubierta orgánica y de grasa puede ser removida con hidróxido de sodio a 1.5% a 85°C. La piedra caliza puede ser removida con ácido nítrico (NHO₃) a 1.5% con 65°C.

El flujo por el cual se hace circular la solución debe de ser lo más alto posible y este deberá ser bombeado por lo menos 30 minutos.

Posterior a la recirculación el equipo debe de enjuagarse profundamente, haciendo circular agua fresca por lo menos 10 minutos.

Rotámetros.

Los rotámetros están contruidos con materiales de reusó, el tubo de área variable es hecho de vidrio mientras que la varilla estabilizadora y las mallas están hechas de acero inoxidable, el flotador está construido por PET. Y las respectivas conexiones con el baño termostático son de material CPVC y PVC.

La velocidad del flujo en los rotámetros es regulada por medio de una válvula de compuerta.



Figura 2: Rotámetro.

Válvula de compuerta.

Es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla, permitiendo así el paso de flujo. La válvula de compuerta que se utilizó está conformada en su mayoría por latón con diámetro de 1/2".



Figura 3: Válvula de compuerta.

Tapones de goma con orificio.

Los tapones de goma son comúnmente utilizados en los laboratorios químicos para tapar frascos y evitar el paso de gases. El diseño permite hacer un orificio para que pueda ser introducido un bulbo para la medición de la temperatura en el interior. Los tapones de goma que se usan para el equipo (#4) cuentan con 26mm de diámetro en la parte superior y 19 mm de diámetro en la parte inferior.

Termómetros.



Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato.

El termómetro está conformado por una cadena termométrica compuesto por una sonda de temperatura con un sensor resistente al agua y el sol, siendo este mismo de una longitud de 2.00 metros al igual que un indicador digital.



Figura 4: Termómetro.

Mangueras.

Las mangueras son fabricadas en material de PCV transparente y flexible. Sus dimensiones constan de diámetro de 1/2" (12.7 mm) y un espesor de pared de 1.1 mm.



Figura 5: Manguera.



Tubería.

La tubería hidráulica de PVC cedula 80 industrial tiene una temperatura máxima de operación de 140°F (60°C). Esta Tubería Hidráulica de PVC se fabrica en extremos lisos terminación espiga en sus dos extremos, por los espesores de pared que cuenta la Cedula 80 a esta a Tubería Hidráulica de PVC.



Figura 6: Tuyo PVC.

El CPVC (cloruro de polivinilo clorado) es un material plástico resistente y duradero. El CPVC comparte la mayoría de las características y propiedades del PVC. También es fácilmente trabajable. Debido a su excelente resistencia a temperaturas elevadas, el CPVC es ideal para trabajos donde las temperaturas de hasta 90 °C (194 °F) están presentes.



Figura 7: Tuvo CPVC.

Adaptadores Macho.

Los adaptadores macho fabricados en cloruro de polivinilo clorado, en la instalación se pueden encontrar de dos medias: 1/2" para la adaptación de la válvula de compuerta y, 3/4" para la conexión de los adaptadores hembra con inserciones para las mangueras.



Figura 7: Adaptador macho.

Adaptadores Hembra.

Los adaptadores hembra son fabricados en material de polivinilo clorado, y en el equipo los encontramos en su presentación hidráulica de 1". Los adaptadores hembra nos ayudan a conectar la tubería de PVC en las entradas del intercambiador de calor.



Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato.



Figura 8: Adaptador hembra.

Codos.

Los codos dentro de la instalación se encuentran en su presentación de CPVC de 3/4" y en PVC de 1". Estos últimos fungen para cambiar la dirección del flujo hacia el intercambiador una vez que salen del rotámetro.



Figura 9: Codo.

Adaptadores de inserción hembra.

Los adaptadores de inserción hembra, gracias a su diseño de rosca interior con empaque, permite la unión firme y sin fugas de mangueras con el tuvo de CPVC en conjunto con los adaptadores macho.

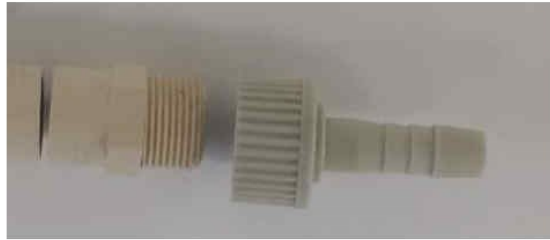


Figura 10: Inserción hembra.

Tuercas unión.

Las conexiones de tuercas unión permiten separar las líneas de tuberías y volverlas a unir sin la necesidad de romperlas. En el equipo las encontramos en la presentación de PVC en medidas de 1" y 1 1/2", y en CPVC en medida de 3/4".



Figura 11: Tuercas Unión.

Reducciones.

Las reducciones permiten el uso de la tubería de distintos diámetros para el equipo, estas se encuentran en medidas de 1 1/2" a 1" en PVC y en 3/4" a 1/2" en CPVC.



Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato.



Figura 12: Reducción 3/4" a 1/2".

Abrazaderas de acero.

Las abrazaderas de acero tienen la función de sujetar a las mangueras en las respectivas inserciones (entradas del baño termostático e inserciones hembra).



Figura 13: Abrazadera de acero.