

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**Diseño, construcción y evaluación de un pre calentador de agua de
uso doméstico y comercial a pequeña escala**

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniera en Industrias Alimentarias

Presentada por:
Bach. Isabel Florencia Vilca Alviar

Asesor:
Mg. Sc. Julio Fernando Pérez Sáez

Ayacucho - Perú

2024

Dedicatoria

La presente tesis dedico principalmente a Dios por estar siempre conmigo y dar fe y esperanza en mi vida diaria. A mis queridos padres ya que con su ayuda incondicional estoy donde estoy y a mis profesores de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga que influyeron en mi formación profesional con principios y valores.

Agradecimiento

Primeramente, agradezco a nuestro Dios por bendecirme y llegar hasta donde he llegado, por haberme dado las fuerzas y valor para poder culminar esta etapa de mi vida. Agradezco la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre y mis hermanos, que me demostraron su amor sin duda alguna en el trayecto de vida, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

Resumen

El actual modo de vida de la sociedad se basa en un modelo energético con el alto consumo de gas y electricidad, que es una preocupación en la sociedad, porque constituyen una contaminación ambiental a nuestro planeta. Por ello en esta investigación se ha planteado como objetivo central, diseñar y construir un pre calentador de agua de uso doméstico y comercial el cual, utilizando la energía calorífica utilizada en la preparación cotidiana de alimentos, permita tener un stock de agua precalentada que se podría utilizar en cualquier momento para operaciones de limpieza, en la preparación de alimentos, o para reducir el tiempo de ebullición cuando se requiera agua hervida, con el consiguiente ahorro de energía y otros beneficios. Para ello se ha recolectado la información sobre las propiedades físicas del agua y de los materiales involucrados en la transferencia de calor y se han establecido las condiciones y parámetros del diseño. Con esta información se ha procedido al proceso constructivo y al desarrollo de las pruebas y ajustes en el diseño hasta alcanzar el diseño definitivo que tiene un flujo de 5 mL/seg y que reduce de 24,52 min. a 15,45 min. el tiempo de calentamiento normal de 5000 mL de agua hasta 92°C

Palabras claves: pre calentador, intercambiador, energía calorífica.

Abstract

The current way of life of society is based on an energy model with high consumption of gas and electricity, which is a concern in society, because they constitute an environmental pollution to our planet. Therefore, the main objective of this research is to design and build a water preheater for domestic and commercial use which, using the heat energy used in the daily preparation of food, allows to have a stock of preheated water that could be used at any time for cleaning operations, in food preparation, or to reduce the boiling time when boiling water is required, with the consequent energy savings and other benefits. To this end, information on the physical properties of the water and the materials involved in heat transfer has been collected and the design conditions and parameters have been established. With this information we proceeded with the construction process and the development of tests and adjustments in the design until reaching the final design, which has a flow rate of 5 mL/sec and reduces from 24,52 min. to 15,45 min. the normal heating time of 5000 mL of water up to 92°C.

Keywords: *preheater, heat exchanger, heat energy.*

ÍNDICE

Resumen.....	iii
Introducción	1
Capítulo I.....	2
Generalidades.....	2
1.1 Antecedentes de la investigación	2
1.1.1 Antecedentes Internacionales	2
1.1.2 Antecedentes Nacionales	4
1.2 Planteamiento del problema de investigación	4
1.2.1 Identificación del problema	4
1.2.2 Formulación del problema.....	5
1.2.2.1 Problema General.....	5
1.2.2.2 Problemas Específicos.....	6
1.3 Objetivos de la investigación	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
1.4 Hipótesis.....	6
1.4.1 Hipótesis General.....	6
1.4.2 Hipótesis Específicas	6
1.5 Justificación de la Investigación.....	7
1.5.1 Justificación	7
1.5.2 Económica	8
1.5.3 Social	8
1.5.4 Ambiental	8
Capítulo II	9
Marco Teórico	9
2.1 Teoría de la transferencia de calor	9
2.1.1 Mecanismo básico de transferencia de calor	10
a) Conducción.....	10
b) Convección.....	11
c) Radiación.....	12
2.1.2 Gradiente de temperatura.....	13
2.2 Intercambiador de calor.....	13
2.2.1 Casos de aplicación	14
2.3 Análisis de flujo de fluido para intercambiadores de calor	15
2.3.1 Análisis del fluido.....	15

2.3.2	Conceptos generales	15
a.	Fluido.....	15
a.1.	Propiedades de los fluidos.....	15
•	<i>Densidad</i>	15
•	<i>Viscosidad</i>	16
•	<i>Caudal</i>	16
•	<i>Flujo</i>	17
•	<i>Flujo Laminar</i>	17
•	<i>Flujo Turbulento</i>	17
•	<i>Flujo Transitorio y Flujo Permanente</i>	18
2.4	Antecedentes de flujo de fluidos para transferencia de calor por convección .	18
2.4.1	Flujo laminar y turbulento	19
•	Flujo laminar en tubos	20
•	Flujo turbulento en los tubos.....	21
2.5	Intercambiadores usados en transferencia de calor	21
2.5.1	Equipos de transferencia de calor	21
2.5.2	Funcionamiento de los intercambiadores de calor.....	21
2.6	Calentadores de agua.....	22
2.6.1	Ecuaciones para el diseño de un intercambiador de calor.	24
Capítulo III	30
Metodología de la Investigación	30
3.1	Tipo de investigación	30
3.2	Nivel de investigación.....	30
3.3	Diseño de investigación.....	31
3.4	Población y Muestra.....	31
3.5	Variables e Indicadores	31
3.5.1	Definición conceptual de la variable	31
3.6	Técnicas e Instrumentos	31
Capítulo IV	33
Materiales y Métodos	33
4.1	Materiales.....	33
4.2	Metodología de diseño del pre calentador	33
4.2.1	Determinación de propiedades físicas del fluido caliente y frío para las	

condiciones de proceso	34
4.2.2 Selección del tipo de intercambiador	34
4.2.3 Diseño de equipo	35
• Estimación del tamaño:	35
• Selección de materiales:	35
• Dimensionamiento	35
4.2.4 Características y selección de materiales	36
4.2.5 Proceso de construcción, montaje y pruebas de funcionamiento del intercambiador	36
4.2.6 Pruebas Experimentales	36
Capítulo V.....	37
Resultados.....	37
5.1 Pruebas experimentales	37
5.1.1 Determinación de propiedades físicas del fluido caliente y frío para las condiciones de proceso	37
5.1.2 Selección del tipo de intercambiador.....	38
5.1.3 Diseño de equipo.....	39
c) Dimensionamiento.....	40
5.1.4 Características y selección de materiales	40
b. Espesor de los materiales:.....	41
5.1.5 Proceso de construcción, montaje y pruebas de funcionamiento del intercambiador	42
5.1.5.1 Detalles de la construcción del equipo.....	42
5.1.5.2 Construcción y montaje de las partes	42
• <i>Construcción del tubo en espiral.....</i>	<i>42</i>
• <i>Construcción del soporte para el equipo:</i>	<i>44</i>
• <i>Recipiente de recepción</i>	<i>45</i>
• <i>Fuente de energía calorífica</i>	<i>45</i>
• <i>Accesorios del equipo.....</i>	<i>46</i>
5.1.6 Pruebas experimentales	47
A. Calentamiento natural del Agua	47
B. Calentamiento forzado del agua	51
• <i>Prueba 1: Para el tiempo con respecto al volumen.....</i>	<i>53</i>
• <i>Prueba 2: Para peso de gas con respecto al volumen.....</i>	<i>55</i>

• Prueba 3: Para el tiempo con respecto a la masa de gas.....	57
Capítulo VI.....	59
Discusiones.....	59
6.1 Diseño del equipo.....	59
6.2 Pruebas experimentales	60
6.3 Valores de los parámetros del equipo.....	67
6.4 Corroboración de resultados con otros autores.....	67
Capítulo VII.....	69
Conclusiones y Recomendaciones.....	69
7.1 Conclusiones	69
7.2 Recomendaciones.....	71
Referencias Bibliográficas	72
ANEXO	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de temperatura del fluido	37
Tabla 2. Propiedades físicas del agua a temperatura promedio	38
Tabla 3. Volumen con respecto al paso del gas	47
Tabla 4. Tiempo con respecto al paso del gas	48
Tabla 5. Volumen con respecto al tiempo	50
Tabla 6. Pruebas experimentales del precalentador	51
Tabla 7. Prueba de normalidad de las pruebas experimentales	52
Tabla 8. Nivel de significancia de las pruebas experimentales	52
Tabla 9. Condiciones de operación para el equipo	53
Tabla 10. Tiempo con respecto al volumen	53
Tabla 11. Peso del gas con respecto al volumen.....	55
Tabla 12. Tiempo con respecto a la masa de gas	57
Tabla 13. Normalidad del tiempo de calentamiento forzado y natural.....	63
Tabla 14. Prueba de t-student del tiempo de calentamiento forzado y natural	63
Tabla 15. Pruebas de Normalidad - Shapiro – wilk	64
Tabla 16. Pruebas de t-student para el consumo de masa de gas.....	65
Tabla 17. Prueba de normalidad para los datos tiempo y consumo de gas.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismo de transferencia de calor entre dos fluidos	10
Figura 2. Flujo de un fluidos entre dos placas paralelas	18
Figura 3. Experimento de Reynolds	19
Figura 4. Volumen de control para flujo laminar en tubos	20
Figura 5. Tanque calentador con serpentín	22
Figura 6. Calentador de agua	23
Figura 7. Transferencia de calor con modelo de circuito térmico	25
Figura 8. Tubo espiral aplanado	44
Figura 9. Soporte del equipo	44
Figura 10. Recipiente	45
Figura 11. Cocina industrial	46
Figura 12. Accesorios	46
Figura 13. Volumen vs Peso de gas	48
Figura 14. Tiempo vs Peso de gas	49
Figura 15. Volumen vs Tiempo	50
Figura 16. Variación del volumen con respecto al tiempo	54
Figura 17. Variación del volumen con respecto al peso de gas	56
Figura 18. Variación de tiempo con respecto a la masa de gas	58
Figura 19. Volumen con respecto al tiempo	61
Figura 20. Volumen con respecto al peso del gas	64
Figura 21. Diferencia de consumo de gas por calentamiento forzado y natural	65
Figura 22. Tiempo con respecto a la masa del gas	66
Figura 23. Distribuidor del líquido	82
Figura 24. Soporte del equipo	83
Figura 25. Tubo cilíndrico y tubo aplanado	84
Figura 26. Volumen con respecto al tiempo	88
Figura 27. Ajuste de distribuidor del fluido	89
Figura 28. Ajuste del equipo hacia el recipiente	89
Figura 29. Reajuste del grifo del gas	90
Figura 30. Ajuste del conducto hacia el recipiente	90

Introducción

El equipo de transferencia de calor es esencialmente usado en toda la industria de procesos, y a nivel doméstico como: refrigeradora, terma, horno microondas, plancha, hervidor, etc. Se ve a diario que la familia está ocupada por las mañanas y por las tardes con los quehaceres domésticos, ya que se dirigen a su centro de trabajo o de estudio, y muchas veces sin haber tomado su desayuno, lo mismo que los niños no pueden tomar rápido la merienda por razones que el tiempo es limitado. Este trabajo de investigación proporciona una solución al problema del calentamiento de fluidos en pocos segundos, para el consumo efectivo de este alimento en el marco del bienestar de las familias.

Para tal fin, se diseñó un pre calentador o intercambiador de paso simple, utilizando los conocimientos y métodos para cálculos de diseño, construcción y operación; además, de la selección de los materiales de transferencia de calor, y pruebas mecánicas.

Para poder llevar este equipo a nivel doméstico, se tuvo que realizar modificaciones junto con un análisis de las variables principales, para reducir las dimensiones del equipo, sin alterar los resultados de los cálculos de diseño en la transferencia de calor.

Para el correcto diseño del equipo, se realizaron pruebas experimentales del fluido obteniéndose favorables resultados de calentamiento. Como resultado de la investigación se presenta una metodología para el diseño, construcción del calentador del fluido basado en un intercambiador de calor de paso simple.

Capítulo I

Generalidades

1.1 Antecedentes de la investigación

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Martínez (2021), en su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, “Diseño de un intercambiador de calor de coraza y tubos para el aprovechamiento de gases residuales de una caldera de 125 BHP de Potencia para la empresa GN industrial en la Provincia de Tungurahua Cantón Ambato”, Universidad Técnica de Ambato- Ecuador, planteó como objetivo general, diseñar un intercambiador de calor de coraza y tubos para el aprovechamiento de gases residuales de una caldera de 125 BHP de potencia para la empresa GN. INDUSTRIAL en la provincia de Tungurahua Cantón Ambato, para lo cual diseñó un intercambiador de calor de coraza y tubos, que aprovecha el 25 % de los gases residuales de una caldera de 125 BHP, consiguiendo alcanzar una potencia eficiente de 37%.

García (2021), en su tesis para optar el grado de Tecnologías Marinas, “Diseño de un Intercambiador de Calor para una Planta de Relicuefacción de GNL”, Universidad de Coruña-España, plantea como objetivo general el diseño de un intercambiador de carcasa y tubos, y diseñar el intercambiador de calor compacto y así comparar resultados y determinar la mejor opción a la planta de relicuefacción a bordo de un barco. Se logró la construcción de un intercambiador de calor ofreciendo dos diseños posibles para incorporar en la planta, pese a que no resultó del todo preciso debido a todas las variantes que intervienen en los procesos y las simplificaciones realizadas.

Cabanzón (2018), en su tesis para obtener título en Ingeniería en Tecnologías Industriales, “Diseño y Cálculo de un Intercambiador de Calor”, Universidad de Cantabria-España, cuyo objetivo es diseñar un intercambiador que sea capaz de cumplir con el diseño planteado. Diseñó y comprobó los conceptos de los fundamentos de la Termodinámica e Ingeniería Térmica, usando el programa computacional CFD (Computational Fluid Dynamics) para realizar el análisis, logrando enfriar hasta 76.29°C en vez de los 80°C que se esperaban., concluye que la eficiencia de un intercambiador, parte desde el buen diseño y una acertada elección de los materiales para su fabricación.

Díaz & Vega (2017), en su tesis para optar el título de Ingeniero Electromecánico, “Diseño y Construcción de un Intercambiador de Calor de Placas Paralelas para el Laboratorio de Transferencia de Calor”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, donde el objetivo es evaluar, calcular el comportamiento y efectividad del intercambiador de calor de placas para diferentes valores de caudal; para el diseño se aplicó el método de la temperatura media logarítmica, y como resultados indica que el incremento de caudal afecta de manera positiva la efectividad térmica. Obteniéndose una efectividad del intercambiador de calor de aproximadamente el 35%.

Villanueva (2014) en su tesis “Diagnóstico operacional del sistema de producción de vapor en una planta piloto” - Universidad Nacional Abierta-Argentina, señala en sus conclusiones que “para mejorar la eficiencia de la caldera, al reducir las pérdidas y contribuir al ahorro de energía se propone revisar el funcionamiento del quemador de manera de lograr una combustión completa, reparar las fugas de combustible, aumentar

la temperatura del agua de dimensión, realizar calorifugado de tuberías y tanques y aprovechar el condensado, así mismo su recomendación más importante es: Diseñar y aplicar un plan de integral para el diseño de generación de vapor, donde se incluya un registro de los datos de operación del equipo. Con ello se busca reducir los riesgos de averías, optimizar la calidad del producto y extender la vida de los equipos e instrumentos”.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Amaro & Gary (2015), en su tesis para optar el Título de Ingeniero Químico “Evaluación de la Eficiencia Energética de un Intercambiador de Calor tipo Coraza y Tubo en el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNCP”, Universidad Nacional del centro del Perú. Tiene como objetivo general, evaluar la eficiencia energética de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos en el Laboratorio de Operaciones y procesos Unitarios de la FIQ – UNCP. Concluyendo que “se comprobó que el promedio de los resultados en la disposición en contracorriente es más eficiente que el promedio de los resultados en la disposición en paralelo. Además la eficiencia energética del equipo evaluado no llega a ser el ideal, evidenciando pérdidas en el consumo de energía”.

1.2 Planteamiento del problema de investigación

1.2.1 Identificación del problema

En la mayoría de los hogares, es común el uso de calentadores de agua eléctricos o a gas, los cuales consumen altas tasas de energía, que a nivel mundial hasta el 2022 constituye el mayor contaminante del medio ambiente con aproximadamente 36 600 mil millones de toneladas métricas (Statista Research Department, 2023) y en el Perú se generaron 16 758,7 millones de kilogramos de CO₂ proveniente del sistema energético (Erazo M, 2022)

Uno de los problemas de la vida familiar es el tiempo de calentar el agua, sea para

el desayuno almuerzo o cena. Normalmente se hace hervir directamente las cantidades de agua que se necesite, lo que requiere tiempo y energía lo que representa un costo diario. Y en la actualidad las personas requieren calentar el agua en un tiempo breve y rápido. Al mismo tiempo otro grupo de familias solucionan dicho problema mediante el uso de hervidores eléctricos, que sin darse cuenta pagan cada vez más recibos de luz muy elevados y a la vez aumentan la contaminación ambiental.

Durante la preparación de los alimentos se hace uso de gas o energía eléctrica, la que podría ser utilizada para precalentar e incluso hervir agua si se instala un sistema que aproveche parte de esta energía para este objetivo. Así se podría contar con agua precalentada que requeriría menor tiempo y menos gasto energético para alcanzar la temperatura de ebullición, e incluso ya tener el agua hervida para destinarla a diversos usos como el consumo directo, adición a las preparaciones para acelerar la cocción o para labores de lavado de utensilios, facilitando el retiro de la grasa de los mismos. Esto último daría más comodidad a las personas que son afectadas por el uso de agua fría en las temporadas de bajas temperaturas.

Por ello se requiere desarrollar un prototipo de intercambiador de calor que utilice parte de la energía de una cocina común en los hogares para que caliente el agua de manera constante, lo que ayudará a disminuir el tiempo y el alto consumo de gas y disminuirá la contaminación ambiental. Y a la vez esta experiencia en resultados experimentales puede permitir a escalar a volúmenes grandes para uso industrial: comedores, hospedajes, restaurantes ya que en dichos recintos se consume gran cantidad de agua caliente.

1.2.2 Formulación del problema

1.2.2.1 Problema General

¿Cómo diseñar y construir un pre calentador de agua para reducir los tiempos de ebullición utilizando parte de la energía calorífica de una cocina doméstica?

1.2.2.2 Problemas Específicos

- a. ¿Cuáles serán los parámetros de diseño de un pre calentador de agua utilizando la energía calorífica de la cocina doméstica?
- b. ¿Será posible construir un pre calentador de agua que cumpla con las condiciones de diseño?
- c. ¿Qué beneficios se obtendrán del uso de un pre calentador de agua que utilice la energía calorífica de la cocina doméstica?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un pre calentador de agua de uso doméstico para reducir los tiempos de ebullición utilizando parte de la energía calorífica de la cocina doméstica

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Establecer los parámetros de diseño de un pre calentador de agua de uso doméstico, utilizando parte de la energía calorífica de la cocina doméstica
- b. Construir un pre calentador de agua para reducir los tiempos de ebullición utilizando parte de la energía calorífica de la cocina doméstica
- c. Evaluar el rendimiento y los beneficios del uso del pre calentador

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

Es factible diseñar y construir un pre calentador de agua, de uso doméstico que permita reducir el tiempo de la ebullición utilizando la energía calorífica de la cocina doméstica.

1.4.2 Hipótesis Específicas

- a. Es posible establecer los parámetros de diseño de un pre calentador de agua para uso

- doméstico y comercial a pequeña escala
- b. Es factible Construir un pre calentador doméstico para reducir los tiempos de ebullición utilizando la energía calorífica de la cocina doméstica.
 - c. El pre calentador tendrá buen rendimiento y su uso generará diversos beneficios a los usuarios

1.5 Justificación de la Investigación

1.5.1 Justificación

El desarrollo de esta investigación “diseño y construcción del pre calentador de agua de uso doméstico para reducir los tiempos de ebullición utilizando la energía calorífica de la cocina industrial”, fue motivado al observar que cotidianamente se hace uso de gran cantidad de energía para preparar alimentos. Esto incluye la ebullición de agua para la preparación de desayunos, bebidas calientes, limpieza, etc. además de la que se utiliza en la preparación de sopas, guisos, etc. Desde el punto de vista económico hay un gasto importante que afecta a las familias más necesitadas. Desde el punto de vista ambiental, la combustión del gas licuado de petróleo o el uso de energía eléctrica afectan al medio ambiente.

Una forma de reducir todos estos factores y además de ganar tiempo sería reduciendo el consumo de gas o electricidad para el calentamiento y ebullición de agua, aprovechando la energía que ya se está utilizando en la preparación de los alimentos, es decir calentar agua con la misma fuente calorífica que se usa para cocinar

El lugar estratégico para ayudar a mi región es la Universidad que nos brinda el conocimiento y orienta servir a la sociedad, en ese sentido me siento comprometida de velar por las necesidades que vive a diario la sociedad y tratar de reducir la contaminación ambiental, que países desarrollados han utilizado la ciencia para crear productos que contaminan más al planeta.

1.5.2 Económica

El diseño y construcción de un pre calentador de agua de uso doméstico, por su comodidad y baja inversión en su construcción, permitirá estar disponible para todos los hogares. El calentamiento de agua simultáneamente con la cocción de alimentos, utilizando la misma fuente calorífica reducirá el consumo de gas o electricidad, con el consiguiente ahorro para las familias. Si se hace un escalamiento del modelo puede ser utilizado a nivel de negocios como restaurantes y centros de expendio de comidas.

1.5.3 Social

El diseño y construcción de un pre calentador de agua de uso doméstico, permitirá reducir el tiempo de calentamiento de agua, generando facilidades a las actividades en el hogar; permitiendo a la vez ahorro de tiempo y dinero. Puede aplicarse en otros establecimientos como: comedores populares, colegios, restaurantes y centros de expendio.

1.5.4 Ambiental

El diseño y construcción de un pre calentador de agua de uso doméstico, se compone de materiales garantizados y saludables, y su funcionamiento permite la reducción del consumo de gas o electricidad, lo cual reduce la contaminación ambiental.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Teoría de la transferencia de calor

Para que pueda haber una transferencia de calor, debe presentarse dos cuerpos que estén a diferentes temperaturas, así la energía se trasladará entre los dos puntos en forma de calor.

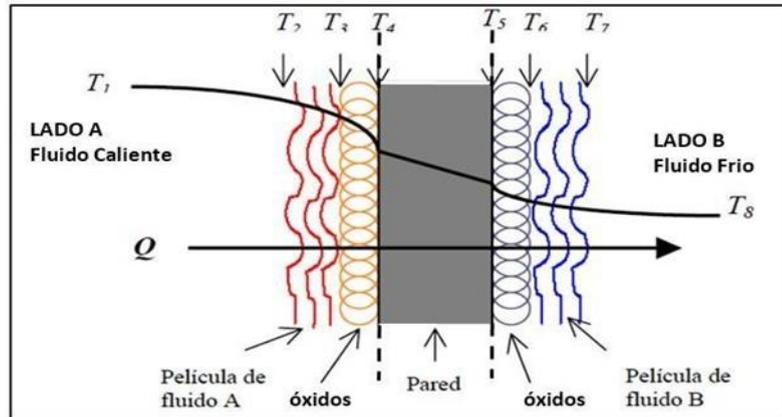
La dirección del flujo de energía calorífica es simple desde el punto más alto de la temperatura hacia el punto más bajo de la temperatura (Geankoplis, 2006).

Existen 3 diferentes mecanismos de transferencia calor: convección conducción y radiación aunque se sabe que en muchos casos el intercambio de calor ocurre de manera mixta, es decir por una combinación de dos o más de estos mecanismos.

El intercambio de calor entre los fluidos es una etapa fundamental en la mayoría de los procesos químicos y los equipos utilizados para realizar este fenómeno son los intercambiadores de calor. La palabra intercambiador realmente se aplica en cualquier tipo de equipo en el cual el calor es intercambiado, pero frecuentemente es usado en forma específica para representar equipos en donde se intercambia calor entre corrientes de reposo (Yunus A. Cengel, 2012).

Figura 1

Mecanismo de transferencia de calor entre dos fluidos



Nota: Para que se produzca la transferencia de calor entre dos fluidos sin que se mezclen, los fluidos deben estar separados por una pared de un material que sea buen conductor del calor. (Q (representa la carga total de calor o calor transferido) y $T_1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ (representa las temperaturas) Fuente: (Yunus A. Cengel, 2012).

2.1.1 Mecanismo básico de transferencia de calor

a) Conducción

Este mecanismo transfiere la energía cinética entre dos moléculas adyacentes que conduce el calor a través de sólidos, líquidos y gases. La conducción de la energía también se transfiere por medio de electrones “libres”, que ocurre en los sólidos metálicos.

Mayormente se verifica la transferencia de calor por conducción a través de las paredes; como por ejemplo en una nevera, la congelación del suelo durante el invierno, etc (Cengel & Boles, 2012).

Según Cengel & Boles (2012), la tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa misma dirección, y esta expresada por la ley de Fourier mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{dQ}{dT} = Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Donde:

dQ/dT: Cantidad de calor transferido por unidad de tiempo [W]

k: Conductividad térmica del material [W/m°C]

A: Área de la transferencia de calor que es perpendicular a la dirección del flujo de calor [m²]

T: Temperatura [°C]

x: Longitud de la ruta de conducción en la dirección del flujo de calor [m]

b) Convección

Este mecanismo implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Además, con frecuencia ocurre el intercambio de energía en una pared sólida y un fluido; donde puede ocurrir una convección natural o forzada (Cengel & Boles, 2012).

“Entre los ejemplos de transferencia de calor por convección tenemos: la pérdida de calor en el radiador de un auto, la cocción de alimentos en un recipiente que se agita, el enfriamiento de una taza de café caliente al soplar en su superficie, etc”.

Para calcular las velocidades de transferencia de calor por el mecanismo de convección, utilizamos la ecuación de la *Ley de calentamiento y enfriamiento de Newton* (Yunus A. Cengel, 2012).

$$\frac{dQ}{dT} = Q_{conv} = hA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

Donde:

dQ/dT : cantidad de calor transferido en el tiempo [W]

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^2\text{°C}$]

A : Área de la transferencia de calor que es perpendicular a la dirección del flujo de calor [m^2]

T : Temperatura [°C]

x = Longitud de la ruta de conducción en la dirección del flujo de calor [m]

La constante de proporcionalidad h es llamada coeficiente de transferencia de calor, y es una función del tipo de agitación y la naturaleza del fluido. El coeficiente de transferencia de calor, es similar a la conductividad térmica k , determinada mediante datos experimentales.

c) Radiación

Este mecanismo consiste en la transferencia de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas, y no requiere de un medio físico para la transferencia de calor, es por eso que difiere de la conducción y convección. La transferencia de calor por radiación se rige por las mismas leyes de la luz (Yunus A. Cengel, 2012).

Un ejemplo de radiación es el transporte de calor del Sol hacia la Tierra y otros como el calentamiento de fluidos en serpentines dentro de un horno de combustión, etc.

En la segunda Ley de la termodinámica, Boltzman estableció la ecuación que describe la velocidad en una fuente de calor, denominada también como la Ley de la cuarta potencia (Yunus A. Cengel, 2012):

$$\frac{dQ}{dt} = Q_{rad} = \sigma \epsilon AT^4 \quad (2.3)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan Boltzmann: $[5.67 \times 10^{-8} \text{ W }]/m^2K^4$

ε : Emisividad de la superficie

A: Área expuesta a la transferencia de calor $[m^2]$

T: Temperatura absoluta $[^\circ K]$

2.1.2 Gradiente de temperatura

Es la diferencia de temperatura y fuerza motriz, mediante la cual el calor se transfiere desde la fuente al receptor. En el caso de un intercambiador de calor es la diferencia de temperatura que existe en el fluido de proceso, entrada y salida del intercambiador, $\Delta T = T_1 - T_2$.

2.2 Intercambiador de calor

Es un equipo diseñado para transmitir la energía calorífica desde un medio (gas o líquido) hacia otro medio. El calor es transferido desde el medio caliente hacia el medio frío por conducción y convección, y algunas veces por radiación en el caso de gases. Una condición para la transferencia de calor es que exista una gradiente de temperatura entre los dos medios (Geankoplis, 1998).

En las agroindustrias, el proceso industrial de transferencia de calor entre dos fluidos casi siempre se lleva a cabo en intercambiadores de calor. El caso más común es cuando el fluido caliente y el frío no están en contacto directo, sino que están separados por una pared, que puede ser pared de tubos o una superficie plana o curva (Cengel & Boles, 2012).

Algunas de las aplicaciones de estos equipos las podemos encontrar en los sistemas de calentamiento, ventilación, acondicionamientos de espacios, radiadores en máquinas de combustión interna, calderas, condensadores, y precalentadores o enfriamiento de fluidos (Jaramillo, 2007, p. 25).

2.2.1 Casos de aplicación

Los intercambiadores de calor son muy variados y reciben distintos nombres (Incropera D, 1996).

- a. **Condensador:** Es un intercambiador que condensa los vapores usando agua de enfriamiento. El condensador puede ser de superficie, si el vapor de escape y el agua de enfriamiento están separados por una pared metálica, o de contacto directo, cuando el vapor y el agua de enfriamiento se mezclan directamente.

- b. **Calentador - Enfriador:** Es un intercambiador donde su función es calentar y también puede enfriar un medio líquido, generalmente agua. Son equipos utilizados para acondicionar grandes instalaciones, y en instituciones donde necesitan simultáneamente climatización y agua caliente sanitaria, por ejemplo: hoteles, hospitales y en el sector industrial.

- c. **Re-hervidor:** Es un intercambiador utilizado en conjunto con columnas de destilación, con el objeto de proporcionar el calor necesario para devolver el vapor al fondo de la columna y permitir así que se lleve a cabo la destilación. La diferencia con un vaporizador es que el último, es usado para vaporizar la totalidad de la alimentación. Los principales tipos de re-hervidor son el de circulación forzada, el de termosifón de circulación natural y el tipo calderín.

- d. **Evaporador:** Es un intercambiador que se emplea para la concentración de soluciones por evaporación de agua u otro fluido. Se clasifican como:
 - Medio de calentamiento separado del líquido en evaporación del líquido en evaporación, mediante superficies tubulares de calentamiento
 - Medio de calentamiento confinado por serpentines, camisas, paredes dobles, placas planas, etc.
 - Medio de calentamiento en contacto directo con el líquido en evaporación.
 - Calentamiento mediante la radiación solar.

2.3 Análisis de flujo de fluido para intercambiadores de calor

2.3.1 Análisis del fluido

El objetivo principal del equipo que propuesto para el estudio del proceso de transferencia de calor, está relacionado con la teoría de la Mecánica de Fluidos. Por lo tanto, se describen grandes conceptos generales de la mecánica de fluidos, particularmente una de la rama de la Hidráulica, que se relacionan con distintos elementos que componen este equipo.

Entre los principales conceptos de la hidráulica utilizados, tenemos.

2.3.2 Conceptos generales

a. Fluido.

Un fluido es un material del cual, al ser sometido a una acción de un esfuerzo cortante, esta se deforma continuamente (Streeter V, 1987).

Streeter V (1987) señala que “En un fluido, la fuerza de su atracción entre las moléculas es muy pequeña, de tal manera que con poco esfuerzo puede obligar a deslizarse e incluso, separarse unas de las otras. Por esta razón, al aplicarse a un fluido con un esfuerzo cortante, estas moléculas entran en movimiento y continuamente cambian de posición; por lo tanto, el fluido se deforma continuamente. Sin embargo, esto no quiere decir que un fluido no opone ninguna fuerza al movimiento. Por lo tanto, el fluido en reposo como en movimiento, ejerce fuerzas, y puede intercambiar energía con el medio en el que se encuentra. En esto se influyen las propiedades intrínsecas de los fluidos, así como las propiedades de los fluidos en los movimiento”

a.1. Propiedades de los fluidos.

- ***Densidad.***

Es una magnitud escalar que mide la relación que existe entre la masa y el volumen

de un fluido.

Como la atracción entre las moléculas de un fluido es menor, existen agentes externos como la presión y la temperatura que impacta decisivamente en la densidad de los fluidos. Aunque en menor grado que a diferencia de los gases, esto es válido para los líquidos (Streeter V, 1987).

Para el diseño del intercambiador de calor, es necesario conocer la densidad del agua, la cual es a 4°C de temperatura y 1 atm de presión:

$$\rho = 1$$

Donde:

ρ : Densidad del agua (g/cm³)

- **Viscosidad**

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que mide la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, y a un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. La viscosidad se define como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. A este tipo de viscosidad se le llama viscosidad absoluta o viscosidad dinámica.

- a) **Viscosidad dinámica:** es el coeficiente de oposición a la alteración del fluido. Su cálculo es complejo por lo que es necesario obtenerlo a partir de valores que se obtienen de pruebas experimentales.
- b) **Viscosidad cinemática:** es el resultado de la división de la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido (Streeter V, 1987).

- **Caudal**

El caudal es la cantidad de un fluido que circula a través de una sección del ducto

en un tiempo determinado. Normalmente se define como un volumen de fluido que circula una sección del flujo en un tiempo establecido (Streeter V, 1987).

Matemáticamente, el caudal se calcula como:

$$Q = vA$$

Donde:

Q: Caudal (m^3/s)

V: Velocidad media del flujo normal a la superficie de control ($m.s$)

A: Área de la superficie de control (m^2).

- ***Flujo***

Es el movimiento continuo de las moléculas de un fluido. El fluido, aun estando en su estado de reposo, las moléculas están en constante movimiento. Sin embargo, para que se establezca un flujo, es necesario que una cierta cantidad inmensa de moléculas del fluido se muevan en conjunto en una dirección definida, y que además, este movimiento se mantenga en el tiempo. Entre los tipos comunes de flujos tenemos: flujo laminar y flujo turbulento (Streeter V, 1987).

- ***Flujo Laminar***

El flujo es laminar cuando las partículas de un flujo se trasladan en direcciones tales que siguen trayectorias bastante regulares, separadas y perfectamente definidas dando la impresión de que se trataran de láminas o capas paralelas. Este establece una corriente de fluido con movimiento organizado, definido, que puede estudiarse con relativa sencillez (Streeter V, 1987).

- ***Flujo Turbulento***

El flujo es turbulento cuando el desplazamiento de las partículas del flujo es irregular, se entrecruzan entre sí y no pueden definirse fácilmente. Sin embargo, el flujo turbulento es más difícil de estudiar teóricamente, por lo que la experimentación y obtención de datos empíricos es muy importante (Streeter V, 1987). Para un mismo fluido,

la transición entre un flujo laminar y un turbulento depende de la velocidad del flujo, y de la viscosidad del fluido.

- **Flujo Transitorio y Flujo Permanente**

Un flujo es permanente cuando las características del flujo, como su presión y la velocidad, en cualquier punto del flujo, dependen únicamente de la posición, es decir, no cambian con el transcurso del tiempo. Y también se llama flujo transitorio, cuando hay una variación de estas características con el tiempo (Streeter V, 1987).

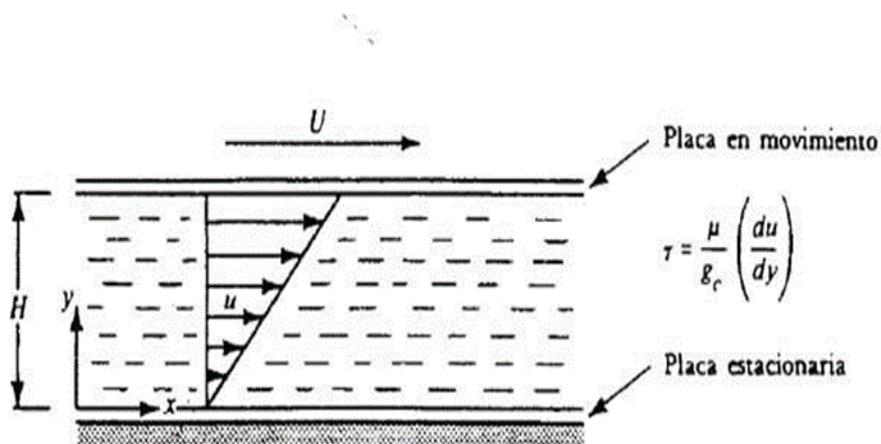
2.4 Antecedentes de flujo de fluidos para transferencia de calor por convección

En el proceso del análisis del diseño y su construcción de intercambiador de calor, hay que tener en consideración la dinámica de flujo de fluidos (Karlekar D, 1987).

En el flujo de fluidos real, la viscosidad toma un papel fundamental, debido a que contribuyen a la variación de velocidades y a la caída de presión, por lo que se comenzará con el análisis de los efectos de viscosidad, aunque se sabe que el fluido que se utilizará será el agua (Karlekar D, 1987).

Figura 2

Flujo de un fluido entre dos placas paralelas



Fuente. Karlekar D, 1987

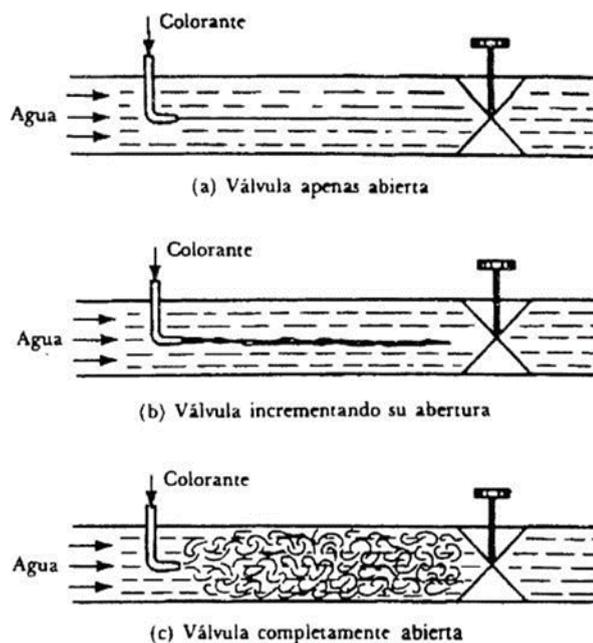
2.4.1 Flujo laminar y turbulento

Considérese el experimento mostrado en la figura 2, en la que el agua fluye a través de un flujo transparente y la razón de flujo se regula mediante una válvula que se encuentra en el extremo donde termina el flujo. Cuando la válvula de desagüe se abre un poco, el colorante formará una línea muy fina a lo largo del agua que está fluyendo (Karlekar D, 1987).

Cuando la válvula se va abriendo progresivamente más y más, el colorante continuará fluyendo en línea recta, hasta que alcanza una razón de flujo en la cual se hacen evidentes fluctuaciones en el filamento del colorante. Esto indica el principio de transición de flujo laminar a turbulento. Cuando la válvula se abre más, el colorante, inmediatamente después de salir del inyector del colorante, se dispersa a través del fluido, indicando un flujo completamente turbulento.

Figura 3

Experimento de Reynolds



Nota: a) Flujo laminar, b) Flujo Transicional y c) Flujo Turbulento. Fuente. Karlekar D, (1987)

Para determinar si el flujo es laminar o turbulento, se debe conocer su densidad, la velocidad media de flujo, la viscosidad y una dimensión característica para la geometría del flujo. Con estas cuatro cantidades se combinan en un número adimensional y es llamado Número de Reynolds.

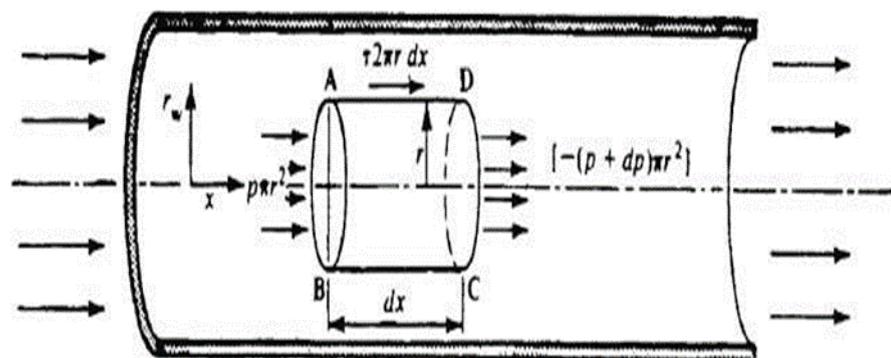
El Número de Reynolds es un parámetro que es analizado como la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, y su valor determina la naturaleza del flujo, turbulento o laminar. Si el Número de Reynolds es menor de 2,300, entonces el flujo es laminar. Y si el Número de Reynolds es mayor de 4,000, el flujo es turbulento. Si el Número de Reynolds varía entre 2,300 y 4,000 y el flujo es transicional (Karlekar D., 1987).

- **Flujo laminar en tubos**

Se considera el flujo laminar de un fluido a través de un tubo de radio interno r_w . Suponga que p representa la presión en un punto cualquiera del fluido y que μ es la velocidad del fluido que está en la dirección x en un radio r . Después de haber hallado la distribución de velocidades, se determina el esfuerzo cortante en la pared, el cual a su vez, se puede utilizar para hallar la caída de la presión a lo largo de la distancia dada en el sentido de la corriente, L (Karlekar D, 1987).

Figura 4

Volumen de control para flujo laminar en tubos



Fuente. Karlekar D, 1987

- **Flujo turbulento en los tubos**

El análisis del flujo turbulento es más complejo que el flujo laminar, pero en la aplicación las prácticas es el que más interesa examinar en el equipo de estudio.

Partiendo del estudio de un tubo, se tienen tres diferentes zonas. Cerca de la pared de este, el flujo es principalmente laminar. A esta región se le denomina subcapa viscosa. Para el agua que está fluyendo a través de un tubo, en la región adyacente al eje del tubo, existe una región que si es completamente turbulenta, denominada núcleo de la turbulencia. La región que separa la subcapa viscosa del núcleo de turbulencia se llama zona de amortiguamiento (Karlekar D., 1987).

2.5 Intercambiadores usados en transferencia de calor

2.5.1 Equipos de transferencia de calor

Según Salazar (2001) existen varios tipos de equipos con el nombre genérico de intercambiadores de calor, que de acuerdo a su construcción, tenemos:

- Intercambiadores de calor de doble tubo
- Intercambiadores de calor de tipo evaporativo
- Intercambiadores de calor de placa
- Intercambiadores de calor de serpentín
- Intercambiadores de calor de espiral
- Intercambiadores de calor enfriados por aire
- Intercambiadores de calor de coraza y tubos
- Intercambiadores de calor de rotatorios

2.5.2 Funcionamiento de los intercambiadores de calor.

La función de cualquier intercambiador de calor es transferir calor de un fluido a otro. Los componentes básicos de los intercambiadores se pueden ver como un tubo por donde un flujo de fluido está circulando mientras que otro fluido fluye alrededor de dicho tubo. Existe, por tanto, tres intercambios de calor que necesitan conocerse (Jaramillo, 2007, p.9).

- Transferencia de calor convectiva del fluido hacia la pared interna del tubo.
- Transferencia de calor conductiva a través de la pared del tubo.
- Transferencia de calor convectiva desde la pared externa del tubo hacia el fluido exterior.

2.6 Calentadores de agua

Existen diferentes formas de calentar el agua usando diferentes medios de calentar en vapor eléctrico y la llama de combustión, como se muestra en la figura 5.

Este calentador de agua por lo general se utiliza en nivel industrial con alto consumo de energía, sea vapor o corriente eléctrica, el punto que propongo es un diseño simple, pero innovativo, para agua de forma entubada continua desde el grifo hacia el recipiente; donde se calienta agua para los diferentes usos, lo que permite reducir el tiempo de calentado y a la vez el ahorro de energía y ahorro económico. Entre los tipos de calentadores más comunes se muestran en la figura 5.

Figura 5

Tanque calentador con serpentín

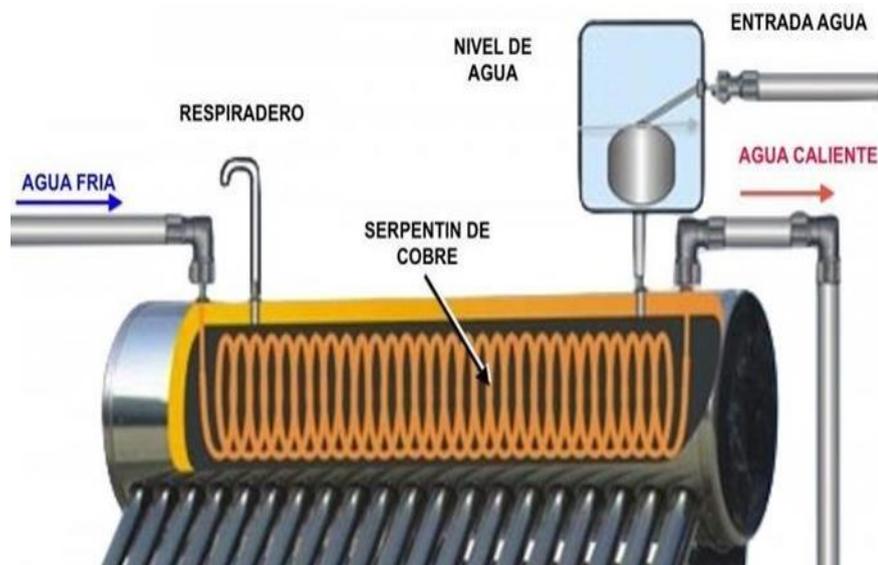
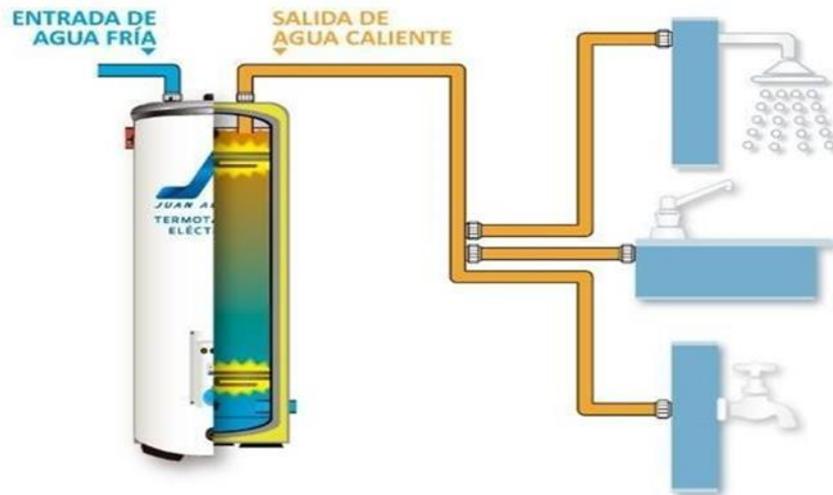


Figura 6

Calentador de agua



El equipo diseñado y construido para esta investigación tiene las siguientes características

- Un serpentín de acero inoxidable.
- Tubo aplanado que permite la ebullición del acero hacia la olla.

El proceso de calentar el agua de este serpentín tipo U es por contacto directo con los gases de combustión del gas GLP (llama).

Durante este proceso existen diferentes formas de transferencia de calor por radiación desde las fases de combustión hacia la superficie externa del serpentín y transferir el calor por convección desde la superficie exterior del serpentín hacia el centro del fluido en circulación conociendo adecuadamente estos conceptos de transferencia de calor definidas a través de los coeficientes iniciales que permiten el diseño del equipo, de acuerdo de la siguiente ecuación.

$$Q = U * A * (\Delta T)$$

$$U = \frac{Q}{A * \Delta T}$$

Donde:

U : Coeficiente global de transferencia de calor.

Y su valor se determina de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} = \frac{1}{h_r}$$

Donde:

h_r : Coeficiente individual de transferencia de calor por radiación

h_{io} : Coeficiente individual de transferencia de calor por convección

2.6.1 Ecuaciones para el diseño de un intercambiador de calor.

Para el diseño de un intercambiador de calor hay que tener en cuenta las propiedades del fluido que se desea procesar ósea enfriar o calentar y del fluido que se va a emplear para entregar o recibir esa energía en forma de calor. De igual modo se debe considerar las propiedades del material de la pared entre los dos fluidos.

Asimismo, para el proceso del diseño es necesario calcular la cantidad de energía que se debe entregar o retirar del sistema y debe ser expresada como flujo calórico. El flujo de calor es igual en toda el área de la pared donde se está realizando la transferencia de calor y está definido por la ecuación (Welty J, 1998).

$$Q = U_d A \Delta T_{ML} \quad (2.4)$$

Donde:

Q : Flujo calórico [W]

U_d : Coeficiente global de transferencia de calor del sistema [W/°Km²] A :

Área de transferencia de calor del equipo [m²]

ΔT_{ML} : Es la diferencia de la temperatura media logarítmica entre los fluidos fríos y calientes a la entrada y a la salida del intercambiador [°K]

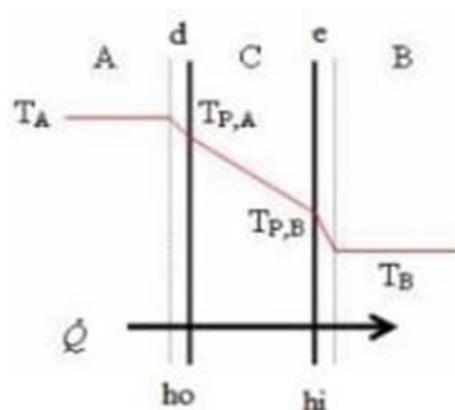
El coeficiente global de transferencia de calor del sistema (Ud) depende del material de la pared que separa los fluidos y también de los fluidos que se utilizan para la transferencia de calor. Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor se utiliza el modelo lineal de fluidos equivalentes en forma de circuito térmico (Walas S, 2003).

El modelo indica las resistencias en serie que el calor tiene que sobrepasar para poder transferir calor de un fluido caliente hacia otro frío. La transferencia a través del sólido depende del espesor del material ya que a mayor espesor habrá menor flujo calórico y viceversa (Welty J, 1998).

Al modelo se le considera lineal porque en cada resistencia la diferencia de temperatura tiene carácter lineal. La Figura 7, muestra el perfil de temperatura con el Modelo de circuito térmico. La zona A es donde se encuentra el fluido más caliente. La zona C es la barrera sólida que separa los dos fluidos. La zona B es donde se encuentra el fluido más frío. La zona “d” es la película del líquido caliente mientras que la zona “e” es la película del líquido frío. El flujo calórico depende de las resistencias que impongan los coeficientes de transferencia de los fluidos internos, h_i , y externos, h_o ; el coeficiente de transferencia del material usado como barrera y el espesor. Todos estos parámetros influyen en el cálculo del coeficiente de transferencia global del sistema. Para calcular los coeficientes las formulas son diferentes ya que el Reynolds cambia cuando trata de la parte interna o externa en una pared.

Figura 7

Transferencia de calor con modelo de circuito térmico



Para calcular el coeficiente de transferencia global del sistema se debe considerar la película del interior de la pared, la película del exterior de la pared y el espesor de la pared. Con estos datos se calcula el coeficiente de transferencia de calor global mediante la siguiente ecuación (Welty J, 1998).

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + \frac{S}{\lambda} \quad (2.5)$$

Donde:

U_d : Coeficiente global de transferencia del sistema [W/°Km²]

h_o : Coeficiente de transferencia de calor externo de la película [W/°Km²]

h_i : Coeficiente de transferencia de calor interno de la película [W/°Km²]

S : Espesor de la pared que separa los dos fluidos [m]

λ : Coeficiente de la transferencia de calor del material [W/°Km]

El coeficiente externo de la película depende del número de Reynolds para el caso de convección natural, y se representa mediante la siguiente ecuación.

$$N_{Re} = \frac{4*G}{\mu} \quad (2.6)$$

Donde:

G : Flujo másico específico por unidad de longitud del cilindro [Kg/sm]

μ : Viscosidad del fluido [Ns/m²]

El coeficiente externo de la película se calcula mediante la siguiente ecuación (Welty J, 1998)

$$h_o = \left(\frac{K^3 * \rho^2 * g}{\mu^2} \right) (N_R)^{-\frac{1}{3}} \quad (2.7)$$

Donde:

h_o : Coeficiente externo de la película [$W/^\circ K m^2$]

K : Conductividad térmica del agua [$W/^\circ K m$]

g : Gravedad [m/s^2]

Por otro lado, el coeficiente interno de la película está dado por la ecuación (Welty J, 1998)

$$h_i = \frac{N_{Nu} * K}{D} \quad (2.8)$$

Donde:

h_i : Coeficiente interno de la película [$W/^\circ K m^2$]

N_{Nu} : Número de Nusselt

K : Conductividad térmica del agua [$W/^\circ K m$]

D : Diámetro de la tubería [m]

El número de Nusselt depende del número de Reynolds y del número de Prandtl, y se calcula mediante la siguiente ecuación (Welty J. 1998)

$$N_{Nu} = 0,023(N_{Re})^{0.8} (N_{Pr})^{0.3} \quad (2.9)$$

$$N_{Pr} = \frac{C_p * \mu}{^\circ K} \quad (2.10)$$

Donde:

N_{Pr} : Número de Prandtl

C_p : Capacidad calorífica del fluido

En el caso del coeficiente interno de la película se utiliza el número de Reynolds para flujo dentro de un cilindro, por lo que se debe considerar el diámetro de la tubería a ser

usada. La ecuación 2.11 muestra el número de Reynolds para flujos en cilindros como el diámetro de tubería.

$$N_{Re} = \frac{D * \rho * v}{\mu} \quad (2.11)$$

Donde:

D : Diámetro de la tubería [m]

ρ : Densidad del fluido que pasa por la parte externa de la tubería [Kg/m³]

V : Velocidad del fluido [m/s]

Estas ecuaciones se aplican para el diseño de intercambiadores de calor. En lugar de utilizar la diferencia de temperaturas entre los dos fluidos se utiliza la diferencia de temperatura media logarítmica.

La diferencia de temperatura media logarítmica toma en cuenta las temperaturas de entrada y salida de los dos fluidos y se calcula mediante la siguiente ecuación (Welty J, 1998)

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_{2 hot} - T_{1 hot}) - (T_{1 cold} - T_{2 cold})}{\ln\left(\frac{T_{2 hot} - T_{1 hot}}{T_{1 cold} - T_{2 cold}}\right)} \quad (2.12)$$

Donde el subíndice 1 y 2 indican la entrada y salida respectivamente del fluido al intercambiador de calor, y los subíndices “hot” y “cold” se refieren al fluido caliente que entrega calor y al fluido frío que absorbe calor, respectivamente. Posteriormente, conociendo el flujo másico del fluido que se requiere calentar, se calcula el calor que el fluido debe absorber para subir su temperatura, mediante la siguiente ecuación 2.13

$$Q = m * Cp * \Delta T_{ML} \quad (2.13)$$

Donde:

Q : Flujo calorífico [W]

m : Flujo másico del fluido [Kg/s]

C_p : Capacidad calórica del fluido [J/Kg °K]

ΔT_{ML} : Diferencia de temperatura media logarítmica [°K]

Una vez alcanzado el calor necesario para calentar o enfriar un fluido en un intercambiador de calor, se calcula la cantidad de otro fluido que se necesita para elevar la temperatura. Aplicando la ecuación 2.13, y reemplazando las propiedades físicas del CP del fluido que se va a utilizar para dar energía, y despejando para el flujo másico, se obtiene la cantidad de fluido.

Una vez conocidos los flujos de calor necesario, el coeficiente global de transferencia de calor el cual fue calculado con los coeficientes internos y externos de la película en una tubería cilíndrica, y la diferencia de temperatura de media logarítmica, calculamos el área de intercambio de calor aplicando la ecuación 2.14. Debido a que frecuentemente se utilizan tubos para el intercambio de calor, podemos determinar la longitud de estos tubos mediante la siguiente ecuación.

$$A = \pi * D * h \quad (2.14)$$

Donde:

A : Área transversal del tubo cilíndrico [m^2]

D : Diámetro del cilindro[m]

h : Longitud del cilindro[m]

Calculado el área de transferencia, se selecciona el tipo de intercambiador que se desea construir y los materiales a utilizar para su construcción, y además buscar el lugar y espacio adecuado para el intercambiador.

Capítulo III

Metodología de la Investigación

3.1 Tipo de investigación

Ñaupas et al. (2018), mencionan que la investigación aplicada está orientada a mejorar, perfeccionar u optimizar el funcionamiento de los sistemas, los procedimientos, normas, reglas tecnológicas actuales a la luz de los avances de la ciencia y la tecnología; por lo cual, este tipo de investigación no se presta a la calificación de verdadero, falso o probable sino a la de eficiente, deficiente, ineficiente, eficaz o ineficaz. De lo expuesto, se deduce que el tipo de la presente investigación es aplicada.

3.2 Nivel de investigación

García Moyano et al. (2016), indican que los estudios de investigación descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. Ante ello la presente investigación es descriptiva.

3.3 Diseño de investigación

Ñaupas et al. (2018), el método experimental o experimento, es el método o técnica de investigación más refinado para recabar datos y verificar hipótesis. Se dice que es refinado porque utiliza sofisticadas técnicas que se basan en la matemática, en la estadística y en la lógica, como las técnicas estadísticas que se utilizan en el control de variables y en la medición de las diferencias estadísticas de los resultados. Por lo mencionado, la presente investigación es de diseño experimental.

3.4 Población y Muestra

De acuerdo a la investigación, no se tiene población.

3.5 Variables e Indicadores

- a. Variable Independiente: Caudal del fluido de agua y el calor suministrado
- b. Variable Dependiente: Temperatura de salida del agua

3.5.1 Definición conceptual de la variable

- ✓ Caudal: Es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo. Y su unidad de medida es m^3/s .
- ✓ Calor: Es la energía que surge de la vibración de moléculas y que conlleva a un incremento en la temperatura.
- ✓ Temperatura: Es una magnitud física que mide la energía térmica de una sustancia. ($^{\circ}C$: *grados celcius*)

3.6 Técnicas e Instrumentos

- **Técnica:**
 - ✓ Análisis documental
 - ✓ Experimental

- **Instrumento:**

- ✓ Guía del análisis documental (Revisión de libros, artículos, tesis, páginas web)
- ✓ Tabla de contingencia

Capítulo IV

Materiales y Métodos

4.1 Materiales

- Tubo de acero
- Manguera sanitaria
- Abrazaderas
- Conectores para el agua de red hacia el equipo.
- Cocina industrial
- Termómetro
- Balanza
- Vernier

4.2 Metodología de diseño del pre calentador

Para diseñar un pre calentador es necesario conocer las propiedades físicas de los fluidos y las condiciones de operación, principalmente el flujo másico del fluido, la temperatura de ingreso y salida del fluido y el tiempo.

La metodología de diseño se estructuró de acuerdo a la siguiente secuencia de determinaciones y cálculos:

- a. Determinación de propiedades físicas del fluido caliente y frío para las condiciones de proceso.
- b. Selección del tipo de intercambiador
- c. Diseño del equipo
- d. Caracterización y selección de los materiales necesarios.
- e. Proceso de Construcción, Montaje y Pruebas de Funcionamiento del Intercambiador
- f. Pruebas experimentales

4.2.1 Determinación de propiedades físicas del fluido caliente y frío para las condiciones de proceso

Es necesario contar con las diversas propiedades físicas del agua, los cuales serán empleados en las diversas ecuaciones que permite hacer las dimensiones del equipo. Las condiciones y propiedades físicas del agua necesarias para el diseño son las siguientes:

- Temperatura de ingreso (t_1)
- Temperatura de salida (t_2)
- Calor específico (C_p)
- Densidad (ρ)
- Caudal (Q)
- Presión atmosférica
- Temperatura de ebullición
- Tiempo (t)
- Viscosidad (μ)
- Conductividad (k)

Estos datos se tomaron por medida directa en algunos casos y en otros de la bibliografía existente.

4.2.2 Selección del tipo de intercambiador

La selección se hizo en base a la revisión de literatura, tomando en cuenta las características de capacidad de transferencia de calor, de resistencia a presiones y temperaturas altas, a las posibles limitaciones en cuanto a caudal y rendimiento, a las

posibles complejidades en su construcción y el costo.

4.2.3 Diseño de equipo

- **Estimación del tamaño:**

La estimación del tamaño se toma como referencia el consumo diario de una familia estándar (alimento líquido) en horas de almuerzo.

- Número de Integrantes (padres e hijos)
- Consumo de agua por persona
- Consumo total de agua (familia)

- **Selección de materiales:**

Los materiales a considerar para el equipo fueron:

- Tubos de material resistentes al calor para el calentamiento.
- Mangueras flexibles para la unión entre el equipo y la fuente de agua
- Accesorios como conectores, abrazaderas, alambre, cocina industrial, recipientes para la recepción del líquido caliente, etc.

Las características de los materiales seleccionados se definieron según las funciones que cumplirán durante el funcionamiento del equipo, es decir si se exponen o no al fuego directo, si van a sufrir cambios bruscos de temperatura, a su posibilidad de dilatación, etc.

- **Dimensionamiento**

En esta etapa se definieron las dimensiones de los componentes que permitan obtener el volumen de agua caliente en tiempo mínimo. Para ello se establecieron las siguientes características:

Lado tubos acero inoxidable

- a) Diámetro del tubo interno
- b) Diámetro del tubo externo
- c) Longitud
- d) N° de pasos
- e) Distancia entre cada N° pasos

Lado de mangueras sanitarias

- a) Diámetro del tubo interno
- b) Diámetro del tubo externo
- c) Longitud

4.2.4 Características y selección de materiales

- Selección de los tubos
- Distribuidor de líquidos
- Selección de accesorios del equipo.
- Soporte del equipo

4.2.5 Proceso de construcción, montaje y pruebas de funcionamiento del intercambiador

La construcción del equipo, su montaje y las pruebas experimentales se desarrollaron en la ciudad de Ayacucho para realizar los cálculos correspondientes en el procedimiento.

4.2.6 Pruebas Experimentales

Las pruebas experimentales de calentamiento natural y calentamiento forzado hechas para el solvente universal (agua) como líquido patrón.

A continuación, se presenta una lista de las pruebas experimentales:

- Calentamiento natural del agua.
- Calentamiento forzado del agua.

Capítulo V

Resultados

5.1 Pruebas experimentales

5.1.1 Determinación de propiedades físicas del fluido caliente y frío para las condiciones de proceso

Tabla 1

Parámetros de temperatura del fluido

Temperatura (°C)		
Entrada	t1	18 °C
Salida	t2	92°C

A continuación, se presenta una tabla de propiedades físicas de los dos fluidos a diferentes temperaturas, extraídas de las tablas termodinámicas, señaladas en el Anexo 6

Tabla 2*Propiedades físicas del agua a temperatura promedio*

Fluido caliente			Fluido frío		
T°	92	°C	T°	18	°C
Cp	4207	J/kg.°C	Cp	4183	J/kg.°C
ρ	936,70	kg/m ³	P	998,68	kg/m ³
μ	4,47E-04	Ns/m ²	μ	10,54E-04	Ns/m ²
k	6,92E-01	w/m.°C	K	5,98E-01	w/m.°C

Estas propiedades son necesarias para los cálculos de diseño del intercambiador de calor.

5.1.2 Selección del tipo de intercambiador

Para el presente estudio se ha seleccionado el diseño y construcción de un intercambiador de paso simple, porque proporciona grandes áreas de transferencia en pequeños espacios, soportan altas presiones y altas temperaturas de operación, su procedimiento de diseño y técnica de fabricación están bien establecidos; estos equipos poseen una tecnología de buen rendimiento y trabajan con amplio rango de caudales.

Se seleccionó el tipo de combustible el gas comercial (gas propano) ya que ofrece mayor eficiencia en la transferencia de calor.

Para el pre calentador de agua diseñado, el fluido frío (agua), que está conectado directamente al grifo del agua, entra por las mangueras sanitarias y circula por el tubo de acero inoxidable, donde está ubicado el calentador (fuego) elevando así la temperatura, fluye el agua caliente, por las fuerzas de la presión del grifo del agua, pasando por la manguera sanitaria obteniendo así un caudal con una mayor temperatura.

En nuestro diseño se utilizó tubo de acero inoxidable aplanados para reducir el

caudal de tal manera que el fluido disminuye y aumenta el coeficiente de transferencia de calor en el tubo de acero.

5.1.3 Diseño de equipo

El equipo es de uso doméstico, por lo tanto, se considera las dimensiones (largo, ancho y altura); para tener buena practicidad y de fácil uso para los usuarios.

Buen rendimiento y de fácil ensamblaje, mantenimiento y limpieza de las piezas. Utilizar los mecanismos de creatividad y consultas a docentes con experiencia en la materia para realizar modificaciones en los procedimientos de diseño y mejorar la eficiencia del equipo, costos de materiales, practicidad y presentación del equipo.

a) Estimación de tamaño: Para la estimación del tamaño se toma como referencia el consumo diario de una familia estándar (alimento líquido) en horas de almuerzo.

➤ Número de Integrantes (padres e hijos)	: 6 personas.
➤ Consumo de líquido por persona	: 700 mL.
➤ Consumo total de agua (familia)	: 4200 mL.

Los datos de los tiempos de calentamiento del agua, son relativos, ya que dependerá de la temperatura del agua de red y consumo de gas.

b) Selección de materiales: Los materiales a considerar para el equipo son: tubos de acero inoxidable, distribuidor del líquido, soporte del equipo y otros accesorios.

- **Tubo de acero inoxidable:** Los intercambiadores de calor se pueden construir de diferentes materiales según sea su aplicación. En nuestro caso utilizaremos el fluido (el agua), como agua fría y caliente, para ello utilizamos el acero inoxidable (1/2") de uso industrial. En el mercado nacional podemos encontrar diferentes medidas de tubos.
- **Distribuidor de líquidos:** Se utilizan muchos diseños para distribuir el líquido. Para nuestro equipo se utilizó la manguera sanitaria, que permite canalizar el agua de

forma equitativa hacia el equipo del intercambiador de calor.

- Selección de accesorios del equipo: Los accesorios utilizados como: Recipiente de recepción (ollas), conductos para el agua, conectores, abrazadores, alambre, cocina industrial. Se obtuvieron del mercado nacional y están acorde con las dimensiones del equipo.
- *Soporte del equipo*: La función de este elemento es soportar el peso y poner en equilibrio el equipo estando en pleno funcionamiento. Para equipos pequeños se diseñó el soporte que tenga las características adecuadas.

c) Dimensionamiento

Consideraciones para el diseño del intercambiador de un solo paso equivalente al estándar, son los siguientes:

Lado de tubos de acero inoxidable

- ✓ Diámetro del tubo interno : 1.1 cm
- ✓ Diámetro del tubo externo : 1.3 cm
- ✓ Longitud : 233.6 cm
- ✓ N° de pasos 10
- ✓ Distancia entre cada N° pasos : 4 mm

Lado de mangueras sanitarias

- ✓ Diámetro del tubo interno : 1.0 cm
- ✓ Diámetro del tubo externo : 1.5 cm
- ✓ Longitud : 300 cm

5.1.4 Características y selección de materiales

Las condiciones de alimentación y las condiciones a las que se desea llegar con el intercambiador de calor están dadas por:

- El caudal del fluido caliente se ha determinado experimentalmente a partir de una relación de consumo, de una familia estándar.

- La temperatura de salida del fluido caliente del equipo es de 92°C (temperatura de ebullición en Ayacucho a 548 mmHg) la cual se da al momento de hervir el agua.
 - La temperatura de entrada del fluido frío es 18°C, temperatura promedio del aguade red de Ayacucho, que es una estimación para fines de diseño.
- a. Selección de materiales de construcción:** Para la selección del material se ha tomado en cuenta los siguientes factores: Disponibilidad de materiales y costos. El proceso que se llevará a cabo es el pre calentamiento del fluido (el agua), lo cual se requirió materiales resistentes a la corrosión.

Los materiales usados en el equipo son:

- Tubo de acero inoxidable (1/2") – Tubo espiral.
- Mangueras sanitarias – Distribuidor del fluido frío y caliente
- Abrazadores – Sujetadores de manguera y acero
- Recipientes – Olla de cocina
- Alambre de acero inoxidable.
- Accesorios
- Conectores de caucho

La materialización del equipo está dirigida para uso doméstico, es por esta razón que la adquisición de los materiales, los precios deben ser moderados. Ya que los márgenes de precios son pequeños, comparando con el rubro de electrodomésticos.

b. Espesor de los materiales:

La alimentación del fluido frío opera a presión de las tuberías de la red de agua, que podemos regular a través de la válvula; por tanto, el cálculo del espesor del material a utilizar no requiere de un procedimiento especial.

- El tubo seleccionado es de acero inoxidable (1/2") de 0.2 mm de espesor según la disponibilidad del mercado nacional, por donde pasará el fluido caliente.

- El espesor del accesorio de conexión es de diseño comercial, 2mm, para soportar la presión de la red de agua y la salida del agua caliente.

5.1.5 Proceso de construcción, montaje y pruebas de funcionamiento del intercambiador

Algunas partes mencionadas del equipo no necesariamente fueron construidas, si no, que se adaptaron y acondicionaron objetos de diferente material, según el diseño ya establecido.

5.1.5.1 Detalles de la construcción del equipo

Una vez terminado los cálculos de las diferentes partes que conforman el equipo, se elaboran los planos de diseño; donde se incluye el plano del equipo completo montado en su estructura de soporte, y mantener la distancia para la recepción del líquido.

Los materiales se adquieren de acuerdo a la disponibilidad del mercado. Siguiendo los planos de construcción se procede al cortado, soldado, rolado de la parte del tubo que requieren tomar la forma espiral, acondicionamiento de los accesorios de conexión y distribuidor del líquido.

5.1.5.2 Construcción y montaje de las partes

- ***Construcción del tubo en espiral***

El tubo en espiral se ha construido de material de acero inoxidable, con una sola entrada y una sola salida. El diámetro del tubo es adecuado para el flujo, el uso de los tubos aplanados mejora la parte experimental del calentamiento y una distribución equitativa para el correcto funcionamiento del equipo. Para la construcción se toma en cuenta lo siguiente:

- a) Se seleccionaron materiales aptos para altas temperaturas y deformes, corroído,

desgastado u otro tipo de defecto para no perjudicar en la construcción y calidad del equipo.

- b)** Después de la selección de los materiales se procede a realizar las mediciones y trazado de tubos de acero; según corresponda el diseño, para tal caso, utilizaremos marcador para metal, y para el trazado emplearemos: vernier y reglas. En la etapa de corte se obtendrán piezas dimensionadas para la construcción de las partes del equipo, empleando una máquina industrial o un cortador tipo disco y para complementar tijeras en caso de corte especial.
- c)** Después de los cortes de las piezas metálicas quedan rebabas (virutas) incrustadas junto al metal, el cual, debemos retirarlo con una máquina de esmerilado o con una lijadora y finalmente a pulirlo para tener una mejor presentación.
- En esta etapa se corroborará las dimensiones del diseño para ensamblar y encajar las piezas correctamente y no generar algún desnivel u otro tipo de defecto que pueda afectar la eficiencia del equipo. También se verificará si en la etapa de corte se procedió correctamente, de lo contrario se deberá corregir las medidas de las piezas de los materiales
- d)** El empalme de las piezas se realizará con sujetadores, arco eléctrico (soldar), remaches, pegamento u otro material que garantice la unión de estos materiales.
- En esta etapa del acondicionamiento es donde se realizará la limpieza y verificación del correcto empalme de las piezas, para asegurar la estabilidad del equipo. Es aquí donde se debe probar el funcionamiento correcto de las condiciones de operación para el equipo, para verificar posibles defectos.

Figura 8

Tubo espiral aplanado



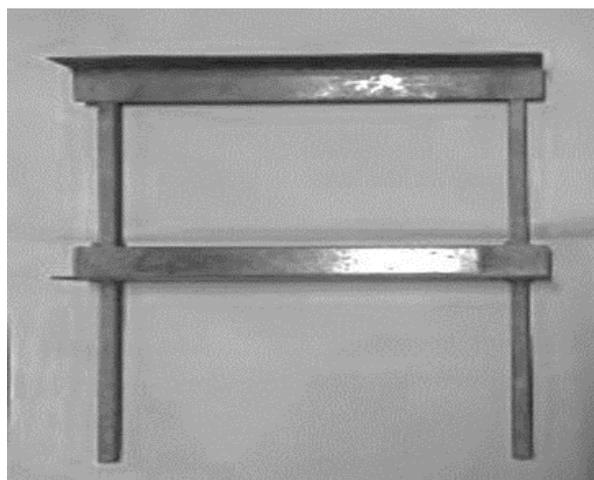
- ***Construcción del soporte para el equipo:***

La estructura del soporte del equipo está diseñada con la finalidad de sostener todo el peso e incluso cuando esté en pleno funcionamiento, el cual sirve para estabilizar el equipo y realizar la recepción del líquido caliente.

Se construyó para tener una practicidad en la manipulación del equipo de forma que se ajuste al equipo. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 9

Soporte del equipo



- ***Recipiente de recepción***

Esta parte del equipo no se construyó debido a la función que cumple en el proceso del calentamiento, sólo recibe el líquido caliente. Se obtuvo el recipiente en una olla de cocina, de manera que no pueda afectar la temperatura del fluido caliente. El volumen del recipiente es de 5000 mL, correspondiente para este equipo. Como se muestra en la siguiente figura.

Figura 10

Recipiente



- ***Fuente de energía calorífica***

La energía calorífica es un elemento importante, el equipo que se requiere para las pruebas experimentales, es una cocina de mesa con quemador, 2 hornillas, formillón número 3 hecha en estructura metálica con manguera de $\frac{1}{4}$ alta presión para gas y adaptador para balón doméstico de 10 Kg. Según se muestra en la siguiente figura.

Figura 11

Cocina industrial



- *Accesorios del equipo*

Los accesorios que se utilizaron para complementar el funcionamiento y limpieza del equipo son de material PVC, las cuales se consiguieron en el mercado nacional sin ningún problema.

Los accesorios son:

- 2 conductos para el transporte del agua (manguera).
- Abrazadores.
- Alambre de acero inoxidable.

Según se muestra en la siguiente figura:

Figura 12

Accesorios



5.1.6 Pruebas experimentales

A. Calentamiento natural del Agua

Se llevó a cabo esta prueba experimental con un volumen de 1000 mL de agua. Que inicia a 18 °C, tomando datos del tiempo de cada litro hasta llegar a la temperatura de ebullición, que es de 92 °C, cuyo detalle se muestra en las tablas 1 y 2; se utilizó una olla de cocina como recipiente.

La prueba experimental se realizó en la ciudad de Huamanga- Ayacucho, obteniéndose datos de tiempo (s), volumen (ml) y peso del gas (gr), en la siguiente tabla.

Tabla 3

Volumen con respecto al paso del gas

N°	volumen (ml)	Temperatura ebullición a 548 mmHg;92 °C, Ayacucho		
		masa gas (gr)		temperatura °C
		Consumido	Inicio	Final
1	1000	35	18	92
2	2000	57	18	92
3	3000	62	18	92
4	4000	75	18	92
5	5000	90	18	92

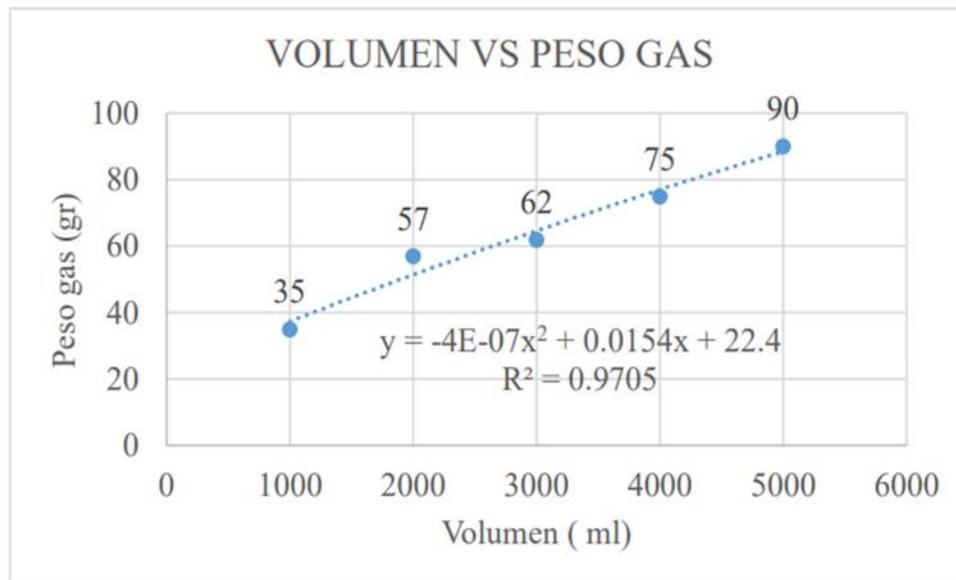
Nota: Como podemos observar en la tabla 3 el volumen es directamente proporcional con respecto a la masa del gas consumido, es decir a mayor volumen de agua, mayor es el peso de gas de lo que se consume.

Los datos de la columna de temperatura se toman al inicio y final de las pruebas experimentales, como se demuestra en la tabla anterior.

A continuación, se representan los datos del volumen con respecto a la masa del gas, en un gráfico tipo dispersión, donde podemos observar el fenómeno de calentamiento mediante los puntos y la formación de la curva.

Figura 13

Volumen vs Peso de gas



La curva polinómica de 2º grado, descrita en la gráfica podemos interpretarlo de la siguiente manera; empieza con una pendiente pronunciada en el primero hasta el quinto litro, teniendo un gasto de la masa del gas de 35 a 90 gr, quiere decir que para poder hervir el agua de 1000 ml se gastará 35 gr de gas. Lo mismo para el 2000 ml de agua, el gas reducirá 57 gr de masa para su ebullición.

Tabla 4

Tiempo con respecto al paso del gas

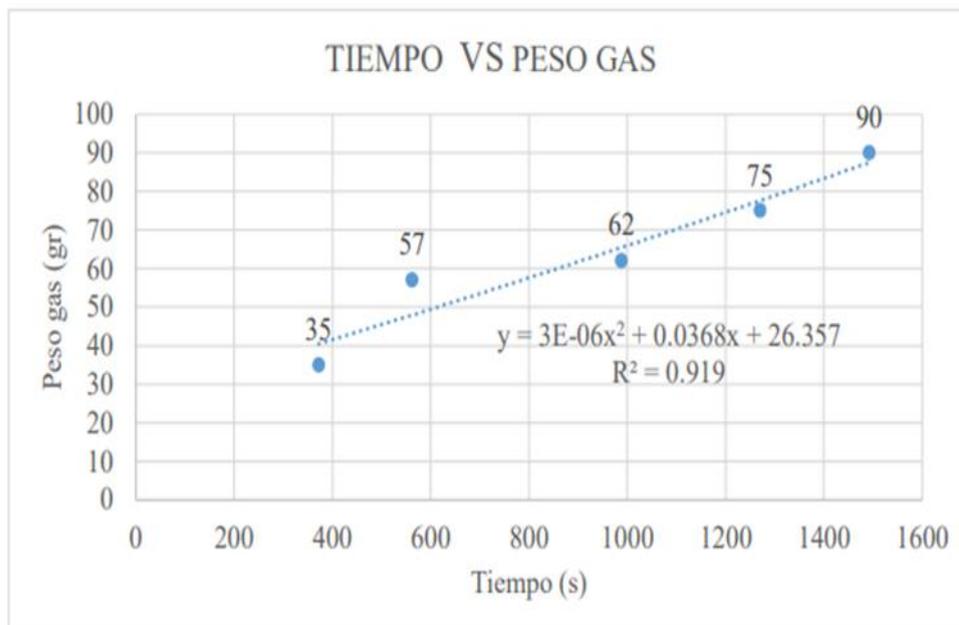
Temperatura ebullición a 548 mmHg;92 °C, Ayacucho				
Nº	Tiempo(s)	Masa gas (gr)	Temperatura °C	
			inicio	Final
1	372	35	18	92
2	562	57	18	92
3	988	62	18	92
4	1270	75	18	92
5	1492	90	18	92

Como podemos observar en la Tabla 4. El tiempo es directamente proporcional con respecto a la masa del gas, es decir a mayor tiempo de ebullición del agua mayor es la masa de gas de lo que se consume.

A continuación, se representan los datos del tiempo con respecto a la masa del gas, en un gráfico tipo dispersión, donde podemos observar el fenómeno de calentamiento mediante los puntos y la formación de la curva.

Figura 14

Tiempo vs Peso de gas



La curva polinómica de 2º grado, descrita en la gráfica podemos interpretarlo de la siguiente manera; Para poder llevar el agua a ebullición se necesita un tiempo determinado y la medición del gasto del gas. Es decir que al tiempo de 372 segundos la primera muestra de 1000 ml se consume 35 gr del gasto de gas, lo mismo se puede decir que para poder hervir 5000 ml de agua, se tomaría un tiempo de 1492 segundos con 90 gr del consumo del gas, el consumo de gas varía de acuerdo al tiempo de ebullición.

Tabla 5

Volumen con respecto al tiempo

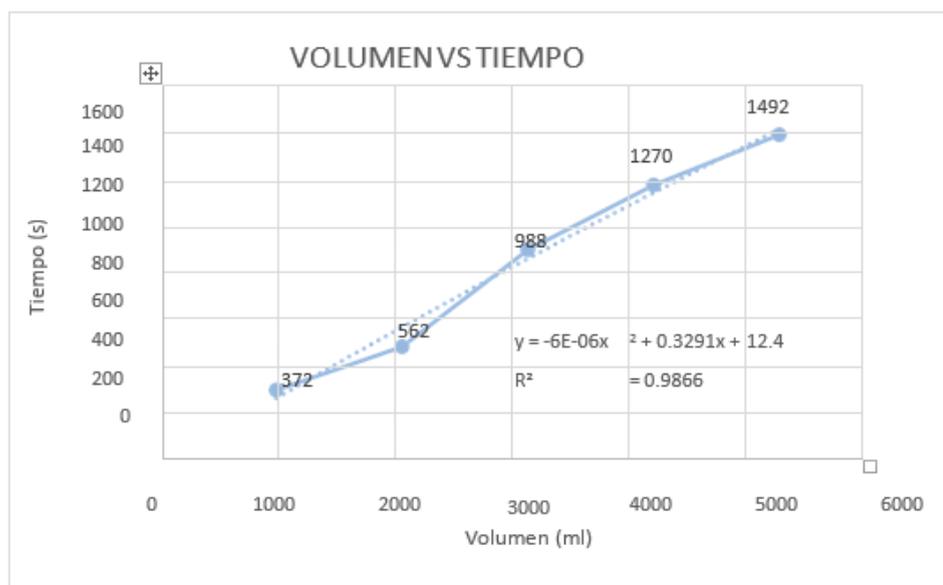
Temperatura Ebullición a 548 mmHg; 92 °C, Ayacucho				
Temperatura °C				
N°	Volumen(ml)	Tiempo(s)	Inicio	Final
1	1000	372	18	92
2	2000	562	18	92
3	3000	988	18	92
4	4000	1270	18	92
5	5000	1492	18	92

Como podemos observar en la tabla 5 el volumen es directamente proporcional con respecto al tiempo, es decir a mayor volumen de agua mayor es el tiempo de ebullición del agua.

A continuación, se representan los datos del volumen con respecto al tiempo de ebullición del agua, en un gráfico tipo dispersión, donde podemos observar el fenómeno de calentamiento mediante los puntos y la formación de la curva.

Figura 15

Volumen vs Tiempo



La curva polinómica de 2° grado, descrita en la gráfica podemos interpretarlo de la siguiente manera; Para llevar el agua a ebullición se necesita un tiempo determinado y el volumen de medición, Es decir que, para poder hervir el agua a 92 °C, de un volumen de 1000 ml, se necesita un tiempo de 372 segundos, lo mismo sería con el volumen de 5000 ml de agua tomando un tiempo de 1492 segundos.

B. Calentamiento forzado del agua

En esta sección se utilizó el equipo (prototipo) del pre calentador para el fluido, donde se realizaron pruebas experimentales para el fluido frío (agua de red). Estas pruebas se realizaron para el agua como fluido frío, en la ciudad de Ayacucho. Las condiciones de operación para el equipo fueron: el volumen del agua (ml), tiempo de ebullición (s) y el gasto de consumo del gas (gr).

Tabla 6

Pruebas experimentales del precalentador

Pruebas experimentales – Calentamiento forzado					
		Prueba E1	Prueba E2	Prueba E3	Prueba E4
N°	volumen (ml)	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo3	Tiempo 4
1	1000	5'44"	4'44"	4'51"	4'20"
2	2000	7'24"	6'24"	7'01"	6'30"
3	3000	8'38"	8'57"	8'45"	8'44"
4	4000	13'48"	13'18"	12'56"	13'37"
5	5000	17'14"	17'23"	16'29"	15'45"

Nota: 04 pruebas experimentales para volúmenes agua de 1000-5000ml.

Para el análisis estadístico de los datos de las pruebas experimentales de la tabla 6, se empleó el software estadístico SPSS versión 29.0.2.0, cuyo proceso consiste en:

- Verificar si los datos presentan distribución normal.

Tabla 7*Prueba de normalidad de las pruebas experimentales*

Prueba de normalidad - Shapiro – Wilk				
	Pruebas experimentales	Estadístico	Gl	Sig.
Tiempo	1	0.917	5	0.513
	2	0.948	5	0.719
	3	0.958	5	0.791
	4	0.931	5	0.65

La Tabla 7 muestra la prueba de normalidad de los datos de las 4 pruebas experimentales realizadas con el equipo. Según la prueba estadística de Shapiro Wilk, las pruebas experimentales, presentan una distribución normal, debida que todos los valores significativos son mayores a 0.05; lo cual permite aplicar métodos de la estadística paramétrica. Para la prueba experimental 1, se tiene que el valor de $p=0.513$ y para la prueba experimental 5, se tiene $p=0.650$. Los cuales son superiores a $p=0.05$ que propone Shapiro Wilk.

- Aplicamos la prueba ANOVA o análisis de varianza, para determinar si los resultados de las pruebas experimentales son significativos.

Tabla 8*Nivel de significancia de las pruebas experimentales*

ANOVA					
Tiempo (s)	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3592.15	3	1197.383	0.014	0.998
Dentro de grupos	1395304.40	16	87206.525		
Total	1398896.55	19			

El nivel de significancia obtenido según la tabla 8 es de 0.998, lo cual permite determinar

que, todas las pruebas experimentales son significativas, por lo tanto se puede elegir a cualquiera de ellas como resultado final. Para este estudio se ha elegido la prueba experimental 4.

➤ ***Prueba 1: Para el tiempo con respecto al volumen***

Para esta prueba experimental se utiliza el caudal de agua de la red como fluido para el calentamiento y conectarlo al equipo del intercambiador. En la siguiente tabla se denotan la temperatura de agua de red y ebullición con sus respectivos caudales.

Tabla 9

Condiciones de operación para el equipo

Fluido Frío		Fluido Caliente
Q (ml/s)	Tred (°C)	Teb (°C)
5.29	18	92

A continuación, se presenta una tabla de iteraciones de tiempo con respecto a la variación del volumen.

Tabla 10

Tiempo con respecto al volumen

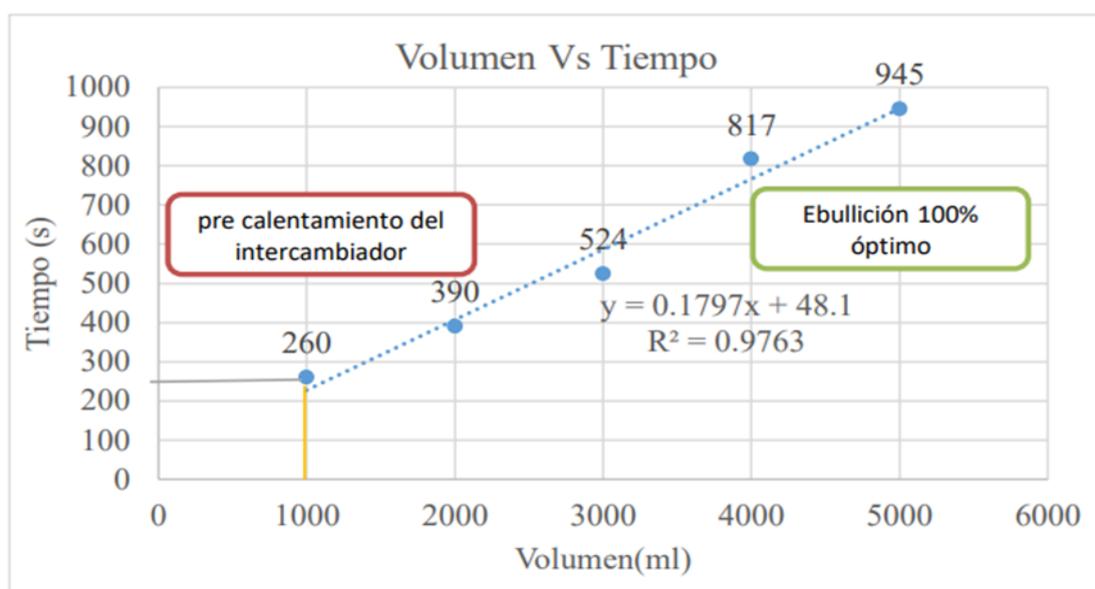
Temperatura Ebullición a 548 mmHg;92 °C, Ayacucho				
N°	Tiempo (s)	Volumen(ml)	Temperatura °C	
			Inicio	Final
1	260	1000	18	92
2	390	2000	18	92
3	524	3000	18	92
4	817	4000	18	92
5	945	5000	18	92

Como podemos observar en la tabla 10 el tiempo de ebullición es directamente proporcional con respecto al volumen del fluido, a mayor volumen del fluido, mayor es el tiempo de ebullición.

En esta prueba experimental si se obtuvo una buena reducción en lo que es el tiempo de ebullición (260 – 945 seg.) con respecto a los volúmenes de (1000 a 5000 ml)

A continuación, se representan en un gráfico los datos del tiempo con respecto al volumen, figura 16.

Figura 16 Variación del volumen con respecto al tiempo



La nota en color rojo indica el pre calentamiento del intercambiador, quiere decir que, al momento de ingresar a los tubos va recalentándose tomando una mayor temperatura hasta llegar un volumen de 1000 ml en un corto tiempo de 260 segundos, teniendo un caudal de inicio 5.29 ml/s.

La nota de color verde indica la brecha de temperatura de 92°C al volumen de 1000 ml, lo mismo sucede con los demás volúmenes con sus respectivos tiempos de ebullición. Además, según la ecuación (para el agua) obtenida de la gráfica, podemos obtener los valores supuesto del precalentador que se requiere para obtener la temperatura deseada que es 92°C.

$$y = 0.1797x + 48.1 \quad (4.1)$$

➤ **Prueba 2: Para peso de gas con respecto al volumen**

A continuación, se presenta una tabla del peso de gas con respecto a la variación del volumen.

Tabla 11

Peso del gas con respecto al volumen

Temperatura Ebullición a 548 mmHg;92 °C, Ayacucho				
N°	Masa gas (gr)	Volumen(ml)	Temperatura °C	
			Inicio	Final
1	25	1000	18	92
2	33	2000	18	92
3	40	3000	18	92
4	42	4000	18	92
5	69	5000	18	92

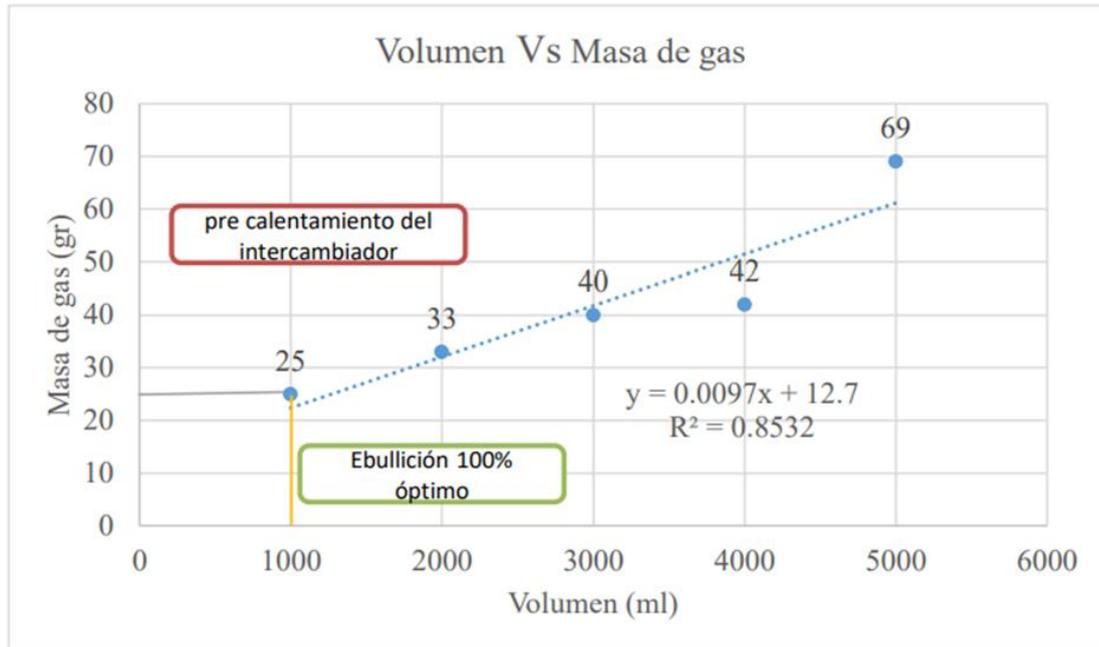
Como podemos observar en la Tabla 11 el peso del gas consumido es directamente proporcional con respecto al volumen del fluido, a mayor volumen del fluido mayor es el peso del consumo de gas.

En la prueba experimental se obtuvo una reducción en lo que es el gasto del consumo de gas (25 a 69 gr) con respecto a los volúmenes de (1000 a 5000 ml) respectivamente.

A continuación, se representan en un gráfico los datos del peso del gas con respecto al volumen, Figura 17.

Figura 17

Variación del volumen con respecto al peso de gas



La nota en color rojo indica el pre calentamiento del calentador, esto quiere decir que, al momento de ingresar al tubo, va recalentándose tomando una mayor temperatura hasta llegar a su ebullición, con un volumen de 1000 ml, con un mínimo consumo de gas de 25 gramos, teniendo un caudal de inicio 5.29 ml/s.

La nota de color verde indica la brecha de temperatura de 92°C al volumen de 1000 ml, lo mismo sucede con los demás volúmenes con sus respectivos gastos de consumo de gas.

Además, según la ecuación (para el agua), obtenida de la gráfica, podemos obtener el valor supuesto de la caldera que se requiere para obtener la temperatura deseada que es 92°C.

$$y = 0.0097x + 12.7 \quad (4.2)$$

➤ **Prueba 3: Para el tiempo con respecto a la masa de gas**

A continuación, se presenta una tabla de iteraciones de la masa de gas con respecto a la variación del tiempo.

Tabla 12

Tiempo con respecto a la masa de gas

Temperatura de Ebullición a 548 mmHg;92 °C, Ayacucho				
N°	Tiempo (s)	Masa gas (gr)	Temperatura °C	
			Inicio	Final
1	260	25	18	92
2	390	33	18	92
3	524	40	18	92
4	817	42	18	92
5	945	69	18	92

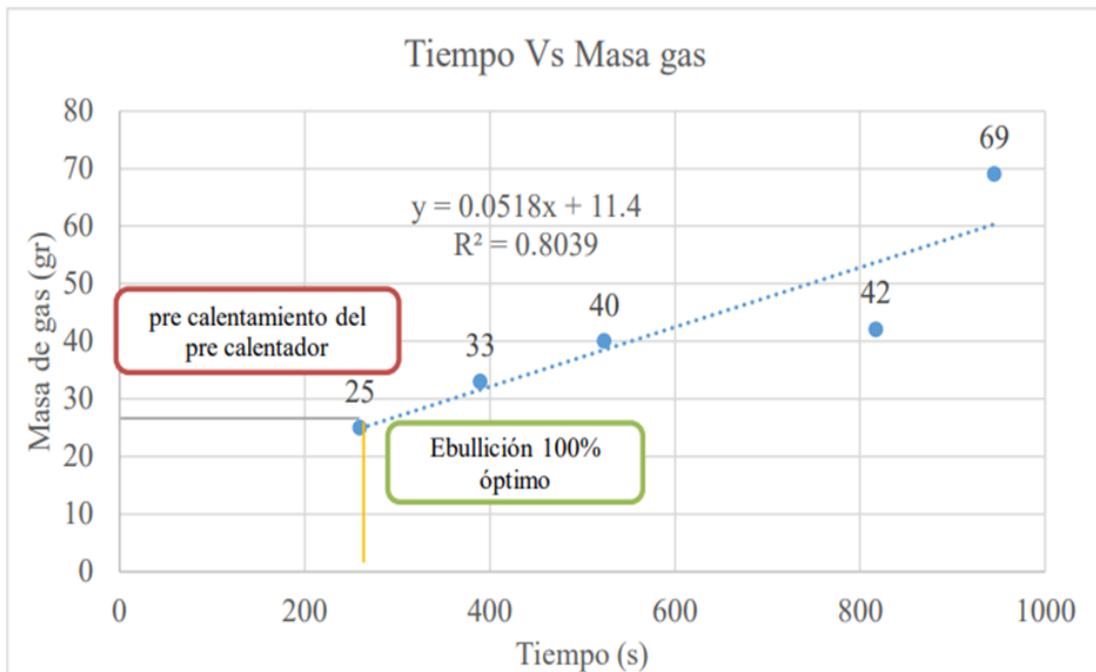
Como podemos observar en la Tabla 12 el peso del gas consumido es directamente proporcional con respecto al tiempo de ebullición del fluido, a mayor tiempo de ebullición del agua, mayor es el peso del consumo de gas.

En la prueba experimental se obtuvo una reducción en lo que es el gasto del consumo de gas (25 a 69 gr) con respecto a los tiempos de (260 a 945 seg.) respectivamente.

A continuación, se representan en un gráfico los datos del peso del gas con respecto al tiempo, Figura 18.

Figura 18

Variación de tiempo con respecto a la masa de gas



La nota en color rojo indica el pre calentamiento del intercambiador, esto quiere decir que, al momento de ingresar al tubo, va recalentándose tomando una mayor temperatura hasta llegar un volumen de 1000 ml con un mínimo consumo de gas de 25 gramos, teniendo un caudal de inicio de 5.29 ml/s.

La nota de color verde indica la brecha de temperatura de 92°C con un tiempo de 260 segundos para un volumen de 1000 ml de inicio, lo mismo sucede con los demás tiempos con sus respectivos gastos de consumo de gas.

Además, según la ecuación (para el agua), obtenida de la gráfica, podemos obtener el valor supuesto del pre calentador que se requiere para obtener la temperatura deseada que es 92°C.

$$y = 0,0518x + 11,4 \quad (4.3)$$

Capítulo VI

Discusiones

6.1 Diseño del equipo

- a) De los modelos de intercambiadores de calor que ya existen, se seleccionó el diseño de transferencia por convección y radiación, y de acuerdo a la literatura fue el más eficiente. A esto se aplicó creatividad e ingenio para resolver algunos de estos problemas.
- b) La variación del calor está ligada directamente al flujo másico y a las temperaturas.
- c) La metodología de diseño para el dimensionamiento de este equipo se basa en, cálculos de balance de materia, energía, y ecuaciones de diseño; y en los parámetros establecidos por el diseñador según las circunstancias que demande la aplicación de este equipo.
- d) Para cumplir con este objetivo ha sido necesario contar con información bibliográfica, resultados experimentales y valores empíricos como flujos y temperaturas del agua.
- e) El flujo de agua y la temperatura tomados como base de cálculo se determinó en función de una familia promedio de 6 integrantes (padres e hijos); la cantidad de agua de consumo es aproximadamente 4,2 L y la temperatura se obtiene de la bibliografía como temperatura de ebullición 92 °C para la ciudad de Ayacucho.

- f) El caudal hallado es de $5,29 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ con el volumen de 5000 ml con el tiempo de 945 segundos. El flujo másico del agua es de 0,00519 kg/s que resulta del balance de materia y energía.
- g) El calor calculado es de 1,58 kw, calor que se transfiere del fluido frío al fluido caliente, para aumentar la temperatura hasta 91°C , este dato concuerda con la temperatura corporal que se obtuvo de la bibliografía.
- h) Para encontrar los parámetros para el diseño del precalentador como: coeficiente global de la transferencia de calor (U) de $32,47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, temperatura media logarítmica de $431 \text{ }^\circ\text{C}$, coeficiente de convección $h_i = 430.64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, coeficiente por radiación $h_s = 29,484 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, el número de Reynolds con el valor de 1010 y el valor de Nusselt 8,6262 se ha aplicado tablas y ecuaciones matemáticas descritas en el marco teórico.
- i) Para el cálculo del área, el diámetro del tubo se apoyó en la bibliografía, para intercambiador simple su diámetro nominal es $\frac{1}{2}$ pulg; los N° de pasos a utilizar fueron 10, estas unidades fueron unidas para la reducción de caudal dentro de los tubos.
- j) El área total de equipo y la longitud de los tubos está determinada para fines de practicidad y mejor manipulación del equipo cuyos valores son: área $0,12 \text{ m}^2$ y longitud del tubo a 2,8m.

6.2 Pruebas experimentales

Para evaluar el equipo se han realizado ensayos experimentales como:

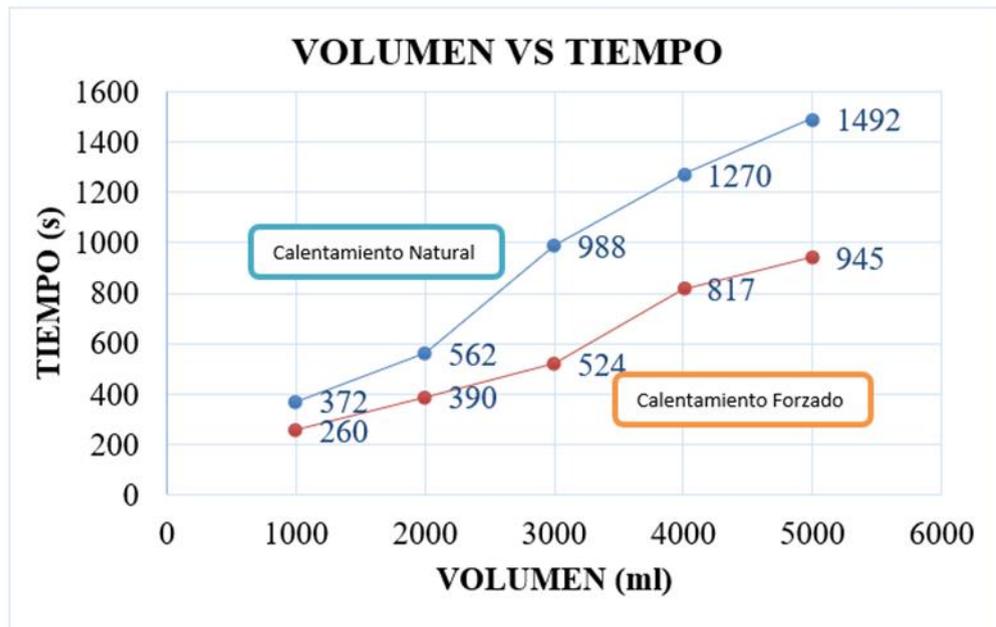
- Calentamiento natural del agua.
- Calentamiento forzado.

Estas pruebas experimentales se realizaron con condiciones específicas de operación como caudal del agua, temperaturas, tiempo de ebullición y el consumo de gas. El volumen para el calentamiento de referencia consta de un rango (1000-5000) mL, para poder comparar con los resultados experimentales.

- k) Se realizó esta prueba experimental de calentamiento natural y forzado para poder relacionarlo con el objetivo, obteniendo como resultado 260 segundos que toma en calentarse el agua de 1000 mL, en la ciudad de Ayacucho.
- l) Los resultados experimentales del calentamiento forzado se presentan en la tabla 9 para la masa del consumo de gas con respecto al volumen obteniendo como resultado 25 gr y 1000 mL respectivamente.
- m) Para la reducción del tiempo de ebullición y la masa del consumo de gas, se tuvo como resultados que se presentan en la tabla 12 para volúmenes de (1000- 2000) mL. Esto dependerá del flujo de la red de agua.
- n) Los resultados de calentamiento de agua forzado se presentan en el siguiente gráfico.

Figura 19

Volumen con respecto al tiempo



La eficiencia del tiempo de ebullición del agua con el equipo diseñado, respecto al tiempo de calentamiento natural es de 25,28%, el cual ha sido calculado mediante la siguiente fórmula matemática.

$$Q = C_e * m_v * (T_f - T_i)$$

$$Q = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * \text{Kg} * (92 - 18)^\circ\text{C}$$

$$Q = 74 \text{ Kcal}$$

Teórico (Lo que se debe gastar)

$$\text{Poder calorífico}_{\text{GLP}} = 11739 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{GLP}} = 11,739 \frac{\text{kcal}}{\text{gr}}$$

Nota: Por cada 1 gr de GLP, se necesita 11,739 Kcal de GLP teórico

$$m_{\text{GLP (Teórico)}} = \frac{74 \text{ kcal}}{11,739 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr}}}$$

$$m_{\text{GLP (Teórico)}} = 6,32 \text{ gr}$$

Esto es la masa de GLP que se debió gastar (6,32 gr) en un litro de agua y en la práctica se gastó (25gr) de GLP que se gastó.

$$\eta = \frac{\text{Energía necesaria}}{\text{Energía invertida}} * 100$$

$$\eta = \frac{6,32 \text{ gr}}{25 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \eta = 25.28 \%$$

Tabla 13*Normalidad del tiempo de calentamiento forzado y natural*

Prueba de normalidad - Shapiro Wilk				
	Pruebas experimentales	Estadístico	gl	Sig.
Tiempo (seg)	C. Natural	0.42	5	0.683
	C. Forzado	0.95	5	0.741

La Tabla 13 muestra que los datos para el tiempo de calentamiento forzado vs tiempo de calentamiento natural presentan una significancia de 0,683 y 0,741 respectivamente, que son mayores a 0,05. Por lo tanto, se determinan que los datos de la figura 18 presentan una distribución normal, entonces se aplica la prueba de t-student para comparar las medias de cada grupo.

Tabla 14*Prueba de t-student del tiempo de calentamiento forzado y natural*

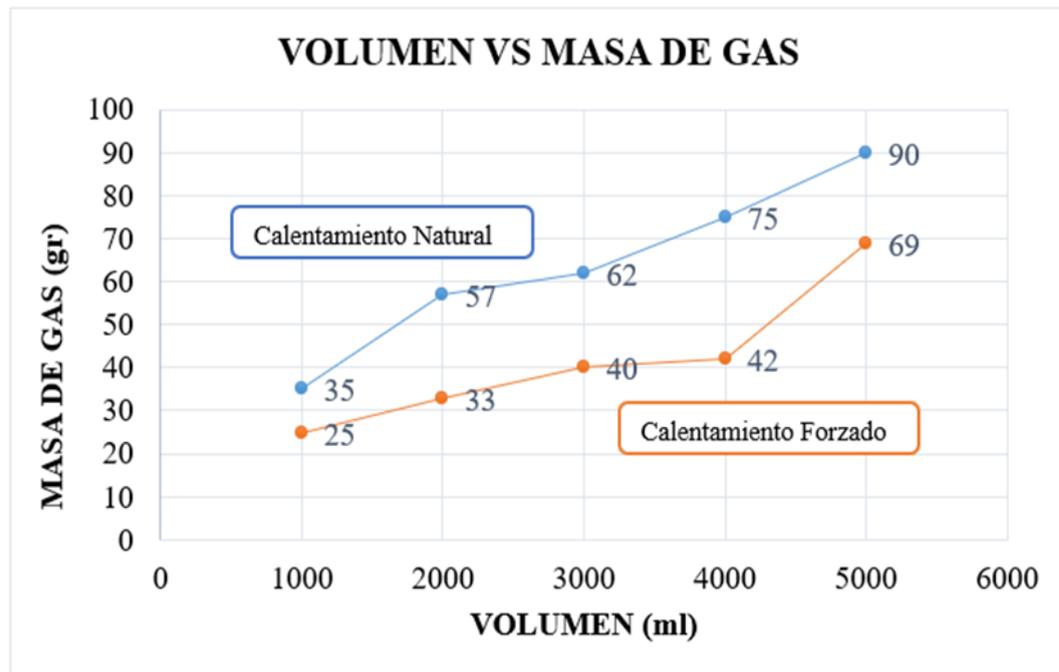
Prueba de muestra independiente							
Significación							
		F	Sig.	t	gl	P de un factor	P de dos factores
Tiempo (seg.)	Se asumen varianza iguales	1.727	0.225	-1.42	8	0.097	0.193
	No se asumen varianza iguales			-1.42	6.632	0.1	0.201

La Tabla 14 muestra la prueba de t-student con nivel de confianza del 95 % para los grupos de tiempo de calentamiento forzado y natural. El grupo de calentamiento forzado tiene un nivel de significancia de 0,193 mayor al valor de 0,05. Por lo cual existe evidencia estadística de la diferencia entre los tiempos de calentamiento. En este caso podemos decir que, con el equipo diseñado se emplea menos tiempo para calentar el agua.

La siguiente Figura muestra la comparación del volumen del líquido a utilizar respecto a la masa del gas que se consume para la ebullición del agua.

Figura 20

Volumen con respecto al peso del gas



Estudiamos la normalidad de los resultados del volumen de agua y masa de gas, para el calentamiento forzado y natural.

Tabla 15

Pruebas de Normalidad - Shapiro – wilk

Prueba de normalidad - Shapiro Wilk				
	Pruebas experimentales	Estadístico	gl	Sig.
Consumo de gas	C. Natural	0.895	5	0.383
	C. Forzado	0.989	5	0.977

La Tabla 15 muestra que los datos para consumo de masa de gas para el calentamiento forzado vs calentamiento natural presentan una significancia de 0,383 y 0,977

respectivamente, valores que son mayores a 0,05, lo cual los datos presentados en la figura 19 presentan una distribución normal, entonces es posible aplicar la prueba de t-student para comparar la diferencia de consumo de gas en ambos tipos de calentamiento.

Tabla 16

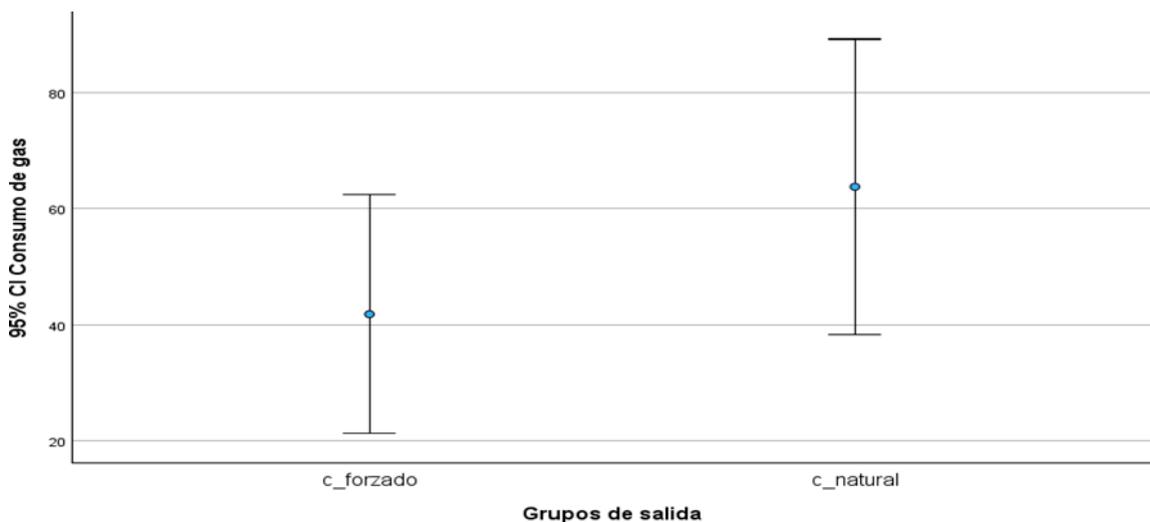
Pruebas de t-student para el consumo de masa de gas

		Prueba de muestra independiente				Significación	
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas				P de un factor	P de dos factores
		F	Sig.	t	gl		
Consumo de gas	Se asumen varianzas iguales	0.298	0.6	-1.861	8	0.05	0.1
	No se asumen varianzas iguales			-1.861	7.661	0.051	0.101

La Tabla 16 muestra la prueba de t-student con nivel de confianza del 95 %, como el nivel de significancia es 0.6 entonces se tiene que las muestras tienen varianzas iguales. Por lo tanto, el valor 0.05 indica que existe evidencia estadística de la diferencia del consumo de gas para ambos calentamientos.

Figura 21

Diferencia de consumo de gas por calentamiento forzado y natural

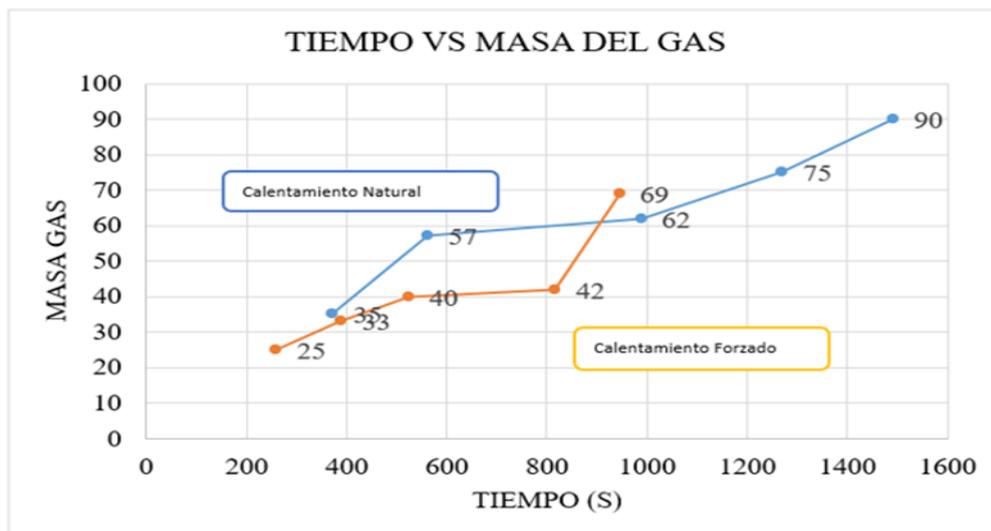


La siguiente Figura 21 se muestra las diferencias que hay entre el consumo de gas para el calentamiento forzado y natural.

La siguiente Figura de comparación es con respecto a la masa del gas que es consumido y el tiempo de ebullición del agua.

Figura 22

Tiempo con respecto a la masa del gas



En la Figura 22, los datos consumo de gas y tiempo de calentamiento presentan una distribución normal, con un nivel de significancia de 0,363 y 0,826 como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Prueba de normalidad para los datos tiempo y consumo de gas

Prueba de normalidad - Shapiro - Wilk

	Tiempo	Estadístico	gl	Sig.
Consumo de gas	Tiempo menor a 500 seg.	0.893	3	0.363
	Tiempo mayor a 500 seg.	0.961	7	0.826

Los resultados de diseño y los resultados experimentales del equipo no necesariamente coinciden, ya que en este caso se utilizó un diseño para uso doméstico, modificando en algunas secciones del procedimiento.

6.3 Valores de los parámetros del equipo

Los valores de los diferentes parámetros del equipo garantizan el correcto funcionamiento y obtención de los resultados experimentales mostrados anteriormente.

6.4 Corroboración de resultados con otros autores

Las investigaciones mencionadas en los antecedentes han construido intercambiadores de calor de tipo coraza y tubos y doble tubo, que son los más conocidos y comerciales para la industria, en algunos casos llegaron a resultados favorables y estos equipos son más modernos que el equipo presentado en esta investigación. Observamos que la mayoría de los autores se inclina a diseñar equipos con alto costo económico.

En la presente investigación se ha diseñado y construido un precalentador de uso doméstico, y coincido con lo expuesto por Cabanzón (2018) que, para la eficiencia de un intercambiador, parte desde el buen diseño y una acertada elección de los materiales para su fabricación. El uso de materiales depende del uso del intercambiador, Martínez (2021), utilizó Acero A53 para el aprovechamiento del gas, que es más costoso. En esta investigación se utiliza acero inoxidable, material común en el mercado nacional.

Los diseños pueden presentar variantes con respecto a la realidad; debido a las simplificaciones y a los fluidos que presentan diferentes características, y el tamaño del mismo es importante de acuerdo al uso que se le va a dar, aún más si es de uso doméstico. En este caso coincido por lo expuesto con García (2021), el cual diseñó dos tipos de intercambiadores compacto y de carcaza–tubos para ser usado en un barco; que los intercambiadores muy voluminosos no tienen demasiada utilidad, dependiendo del uso que se les va a dar. Para ello es necesario aplicar correctamente las teorías de la ingeniería.

El uso de intercambiadores de carcasa y tubo son los más conocidos en las industrias; pero para determinar su eficiencia, se requiere utilizar el equipo con las especificaciones de fabricación; caso contrario, los datos que se esperan no serán los correctos. Por eso en esta investigación se detallan ante qué especificaciones se debe usar el equipo diseñado, por ejemplo: que el caudal a utilizar debe ser regulado, que el tipo de cocina debe ser doméstica, ante ello el equipo funciona correctamente. Para el mismo proceso para el calentamiento de agua, el experimento de Amaro & Gary (2015) resulto no eficiente. Al respecto coincido Amaro & Gary, que al variar las condiciones de operación, el equipo no es eficiente.

Para el uso del prototipo, cuando se abre el grifo del agua, se ajusta hasta que sea estable, es decir, no debe haber periodos de turbulencia. Como lo indica el número de Reynolds, el flujo corresponde a un flujo laminar.

$$Kg Re = 1013 \frac{Kg}{Ns * s}$$

Según Cabanzón (2018) indica que es importante tener en cuenta la presión a la que se debe someter el fluido de entrada para que se produzca el flujo másico deseado, por ello se estudia mediante gráficas donde se pueden hallar valores exactos tanto para la carcasa y los tubos. Relacionando a nuestros cálculos, se tiene el coeficiente global de transferencia de calor junto con DTML con la que será posible terminar el área requerida para la transferencia de calor necesaria para definir las dimensiones que requiere el intercambiador de calor $U = 32,47 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. Se logró diseñar y construir un pre calentador de agua de uso doméstico para reducir los tiempos de ebullición utilizando parte de la energía calorífica de la cocina doméstica.
2. Se logró identificar los parámetros de diseño del pre calentador de agua de uso doméstico, los cuales son:
 - a) Temperatura de salida de agua: 92 °C
 - b) Temperatura de entrada de agua: 18°C
 - c) Caudal de salida de agua caliente: $5.29 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$
 - d) Número de pasos de tubo de acero inoxidable: 10
3. Se logró construir un pre calentador de agua, como prototipo a base de pruebas experimentales: calentamiento natural y calentamiento forzado. Logrando reducir el tiempo de ebullición del agua.

experimentales para el tiempo de ebullición del agua

Volumen(mL)	Calentamiento Natural	Calentamiento Forzado
1000	6' 12"	4' 20"
2000	9' 22"	6' 30"
3000	16' 28"	8' 44"
4000	21' 10"	13' 37"
5000	24' 52"	15' 45"

De acuerdo a la tabla expuesta con el precalentador diseñado se ha logrado la reducción del tiempo de ebullición.

4. Se logró evaluar el rendimiento y los beneficios del pre calentador. En las pruebas experimentales calentamiento natural y calentamiento forzado.

experimentales para el consumo de gas en gramos

Volumen(mL)	Calentamiento Natural	Calentamiento Forzado
1000	35	25
2000	57	33
3000	62	40
4000	75	42
5000	90	69

Los beneficios del prototipo del precalentador fueron:

- Tamaño del precalentador adecuado que pueda encajar en la cocina
- Bajo costo de construcción
- Bajo consumo de GLP
- Reducción en la contaminación ambiental

7.2 Recomendaciones

Los resultados del presente trabajo de investigación sirven como base para diseñar y construir intercambiadores de calor a los estudiantes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias y de otras escuelas a fines; y además para desarrollar trabajos de investigación y proyectos de pre-factibilidad – factibilidad, porque ya se cuenta con una base experimental en este trabajo y al margen del proceso es bastante sencillo.

1. Se recomienda la optimización de las variables de operación, para mejorar el rendimiento del tiempo de calentamiento forzado.
2. Evaluar el equipo con otros tipos de posición de los tubos, para saber si hay un rendimiento mejor que el utilizado.
3. Continuar con esta línea de trabajo en diseño, construcción y evaluación de equipos.
4. Implementar el pre calentador de agua de uso doméstico agregándole (carcasa, rellenos dentro del tubo) y que funcione mediante paneles solares, lo cual disminuye la contaminación al medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

- Amaro, H., & Gary, F. (2015). *Evaluación de la eficiencia energética de un intercambiador de calor tipo coraza y tubo en el laboratorio de operaciones y procesos unitarios de la FIQ-UNCP.*
- Cabanzón, J. (2018). *Diseño y cálculo de un intercambiador de calor.* Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones., 73.
- David, I. F. D. W. (1996). *Fundamentos de transferencia de calor.*
- Diaz, S., Vega, G. (2017). *Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de calor sergio.* BMC Public Health, 5(1), 1–8.
- Erazo M. (2022). *Consumo de energía no renovable y emisión de CO2 en un pis en vías de desarrollo.* Revista Científica de La Universidad Cienfuegos, 14(8.5.2017), 110–115.
- García, M. (2021). *Diseño de un intercambiador de calor para una planta de relicuefacción de GNL.*
- García M; Guerrero P., Antón S; Juárez R., Tabueña A., & García, P (2016). *Guía de elaboración de un proyecto de investigación.* Segunda parte. In Revista de enfermería(Barcelona, Spain) (Vol. 39, Issue 2).
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.* Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar, 6(August), 128.
- Martinez, O. (2021). *Diseño de un intercambiador de calor de coraza y tubos para el aprovechamiento de gases residuales de una caldera de 125 bhp de potencia para la empresa gn. Industrial en la provincia de tungurahua Cantón Ambato.* 6.
- Ñaupas, H., Paitán, M; & Palacios J (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis.* In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pradhan, R. L., Ravikumar, D., & Pradhan, D. (2022). *Review of Nusselt Number Correlation for Single Phase Fluid Flow through a Plate Heat Exchanger to DevelopC# Code Application Software.* IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 1–8.

Salazar, J. (2001). *Diseño de equipos de transferencia de calor*. 0, 2–5.

Statista Research Department. (2023). *Emisiones mundiales de CO2 de 1995 a 2022*.

Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/635894/emisiones-mundiales-de-dioxido-de-carbono/>

Yunus A. Cengel, M. (2012). *Termodinámica – Yunus A. Cengel, 7ma Edición*. 1041.

Yunus A. Cengel, M. (2007). *Transferencia de calor y masa –Un enfoque práctico*. McGraw-Hill Interamericana. México Yunus A. Cengel, 7ma Edición. 1041.

ANEXO

Anexo 1

A. Resultado experimental para determinar el caudal del fluido caliente

Consumo de agua en horas de almuerzo, en una familia estándar.

- Número de Integrantes (padres e hijos) : 6 personas.
- Consumo de agua por persona : 700 mL.
- Consumo total de agua (familia) : 4200 mL.

El tiempo de calentamiento forzado del agua debe ser menor con respecto al calentamiento natural, es por eso el motivo de reducir al menor tiempo posible al calentamiento del fluido.

A continuación, se presenta los diferentes tiempos de calentamiento del agua para un volumen de 5000 mL. Datos experimentales.

- Tiempo de enfriamiento natural minutos. : 25
- Tiempo de enfriamiento forzado minutos. : 15

Los datos de los tiempos de calentamiento del agua, son relativos, ya que dependerá de la temperatura del agua de red.

Hallando el caudal del fluido caliente, para el diseño del intercambiador de calor de tubos.

Fórmula:

$$Q_c = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

CALENTAMIENTO NATURAL

Caudal:

$$Q_c = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

$$Q_N = \frac{5000 \text{ mL}}{1492 \text{ s}} = 3.35 \approx 3 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

$$Q_N = 3 * 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

CALENTAMIENTO FORZADO

Cálculo de Diseño Propuesto

Diseño para los fluidos Agua: Agua.

Temperaturas de operación

Fluido Frio

T₂ entrada = 18 °C

T₁ salida = 91 °C

Propiedades Físicas

❖ Datos obtenidos con el promedio de temperatura 91 °C y 18°C

- T_m = 54.5,0°C
- C_p = 4183 J/kg.°C
- ρ = 985.2 kg/m³
- μ = 5.04E-04 Ns/m²
- k = 6.49E-01 w/m.°C
- Pr = 3.25

CALENTAMIENTO NATURAL

Caudal y Flujo másico de operación

Fluido Frio:

$$Q_f = \frac{mL}{s} \approx 3 * 5 * 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{m}_f = Q_f * \rho_f$$

$$\dot{m}_f = 5 * 10^{-6} \frac{m^3}{s} * 985.2 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_f = 0.005213 \frac{kg}{s}$$

Cantidad de Calor

$$q = \dot{m}_f * Cp_f * \Delta T_f$$

$$q = 5,21 * 10^{-3} \frac{kg}{s} * 4183 \frac{J}{Kg, ^\circ C} * (91 - 18)^\circ C$$

$$q = 1592 W$$

Diferencia de Temperatura Media Logarítmica

Dato:

- t_2 entrada = 18 °C
- t_1 salida = 91 °C
- T_2 = 400 °C
- T_1 = 600 °C

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_{ML} = \frac{(600 - 91) - (400 - 18)}{\ln\left(\frac{(600 - 91)}{(400 - 18)}\right)}$$

$$\Delta T_{ML} = 442 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Especificación de los tubos

- Tubo de acero inoxidable de ½ pulg de diámetro nominal.
- Diámetro interior : d_i
- Diámetro exterior : d_o
- Longitud : L

d_i	11	mm
d_o	13	mm
L	2336	mm

Coefficiente global de transferencia de calor

- Características del tubo (1/2")

- d_i : 1.1 cm

- d_o : 1.3 cm

Número de Reynolds

$$Re = \frac{4 * \dot{m}_f}{\pi * D * u}$$

Datos:

- $T_m: 54.8^\circ\text{C}$
- $\rho : 985.2 \text{ kg/m}^3$
- $Lado A : 1.8 \text{ cm}$
- $Lado B: 19.5 \text{ cm}$
- $h (\text{altura}) : 0.4 \text{ cm}$
- $DH: 1.1 \text{ cm}$
- $\mu : 5.04\text{E}-04 \text{ Ns/m}^2$
- $Q_F = 3.17 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- $A_T = 0,081 \text{ m}^2$
- $k = 6.49\text{E}-01 \text{ w/m}^\circ\text{C}$

$$Re = \frac{4 * 0.005213 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{3,1415 * 0.013\text{m} * 3.17\text{E} - 04\text{Ns/m}^2}$$

$$Re = 1013 \frac{\text{Kg}}{\text{Ns} * \text{s}}$$

- Número de Nusset

$$Nu_D = 0,023 * Re^{4/5} * Pr^{1/3}$$

- Para el lado de tubos. $Pr = 3,25$ ($T_m: 54.8^\circ\text{C}$)

$$Nu_{D(t)} = 0,023 * 1013^{\frac{4}{5}} * 3.25^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{D(t)} = 0.0426$$

➤ Coeficiente de película h_i y h_r

- Para el lado del tubo

$$Nu_D = \frac{h_i \cdot D}{k}$$

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{DH}$$

$$h_i = \frac{0.042 \cdot 6,49 \cdot 10^{-1} \frac{W}{m \cdot ^\circ C}}{0.011m}$$

$$h_i = 2.478 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

- Para el lado del quemador h_r

$Q_r = h_r A (\Delta T)$ $Q_r = \sigma \varepsilon A T^4$ Igualando:

$$h_r A (\Delta T) = \sigma \varepsilon A T^4$$

$$h_r (T_r - T_s) = \sigma \varepsilon (T_r^4 - T_s^4)$$

Despejando:

$$h_r = \frac{(T_r^4 - T_s^4)}{(T_r - T_s)}$$

Dato:

➤ $\sigma: 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 k^4$

➤ $\varepsilon: 0.8$

➤ $T_r: 400 \text{ } ^\circ C$

➤ $T_s: 100 \text{ } ^\circ C$

Ahora reemplazamos en la siguiente ecuación

$$hr = \frac{5,67 \times 10^{-8} \text{ W}}{\text{m}^2 \text{ K}^4} * 1.0 * ((400 + 273)^4 - (100 + 273)^4) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$(400 - 100) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$hr = 35.11 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Reemplazamos en la siguiente ecuación.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_r}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{431.66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1}{35.11 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}}}$$

$$U = 32.47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

8. Área total

$$A_T = \frac{q}{U * \Delta T_{ML} * F_t} \Rightarrow \frac{1591 \text{ W}}{32.47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} * 442.4 \text{ } ^\circ\text{C} * 0,942} = 0,12 \text{ m}^2$$

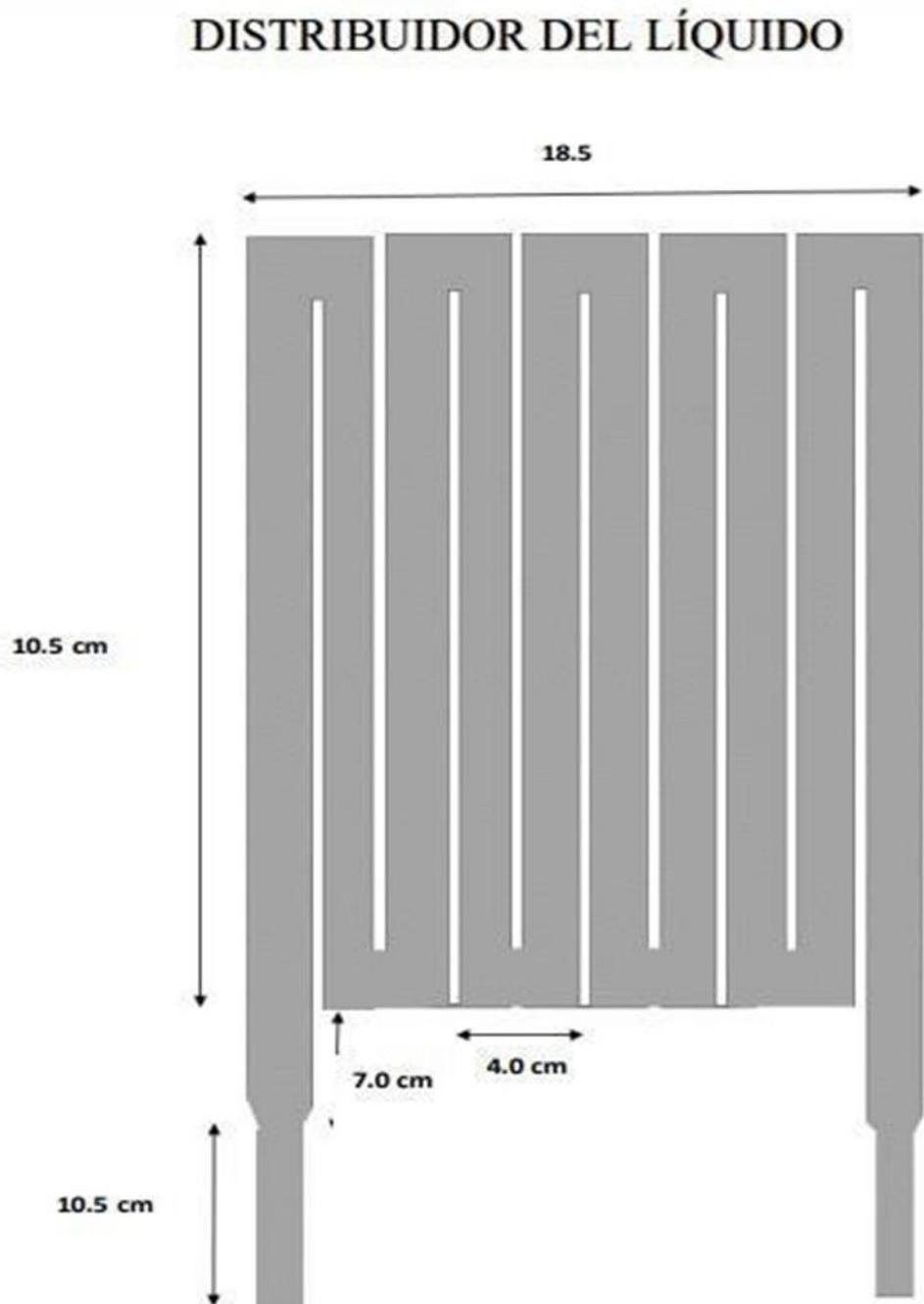
➤ Longitud total del tubo

$$L_T = \frac{A_T}{\pi \cdot D} \Rightarrow \frac{0,215 \text{ m}^2}{\pi * (13 \cdot 10^{-3}) \text{ m}} = 2,8 \text{ m}$$

Anexo 2

Figura 23

Distribuidor del líquido

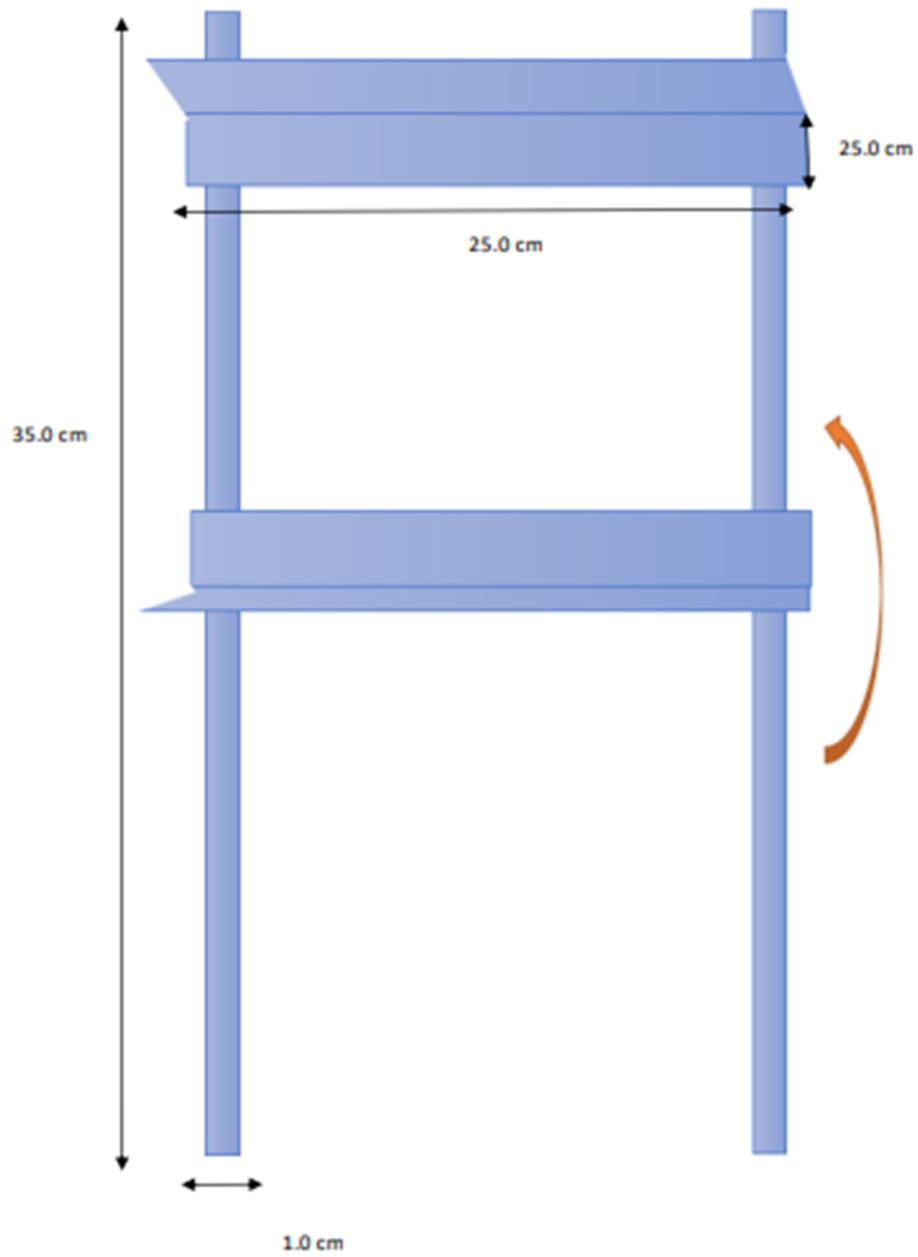


Anexo 3

Figura 24

Soporte del equipo

SOPORTE DEL EQUIPO

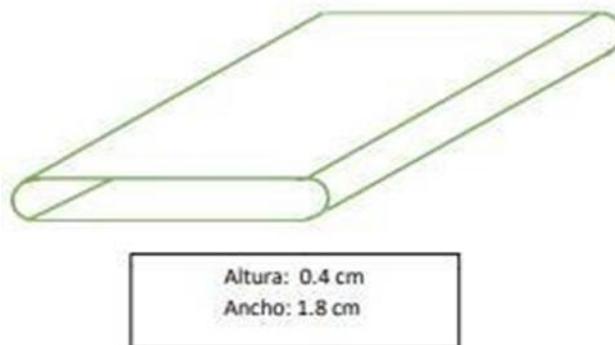
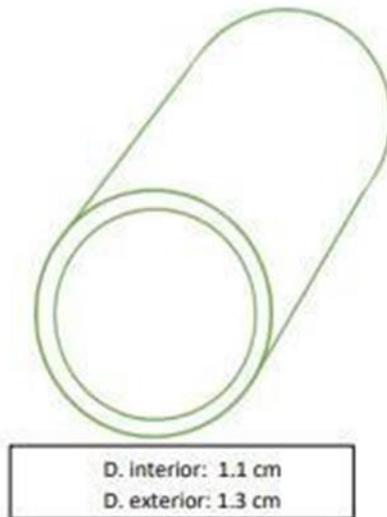


Anexo 4

Figura 25

Tubo cilíndrico y tubo aplanado

TUBO DE ACERO INOXIDABLE



Anexo 5

Composición	Punto de fusión K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas K K(W/m. ² K)/C _p (J/Kg.K)					
		ρ	C _p	K	α×10 ⁶	100	200	400	600	800	1000
		Kg/m ³	J/kg.°K	W/m.°K	m ² /s						
Al carbono - manganeso - silicio (1%<Mn<1.65% (0.1%<Si<0.6%)		8131	434	41	11.3			42.2 487	39.7 559	35 685	27.6 1090
Aceros de cromo (bajo): 1/2 Cr 1/4 Mo- Si (0.18%C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6%Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9
1Cr1/2 Mo, (0.16%C, 1%Cr, 0.54%Mo, 0.39% Si		7858	442	42.3	12.2			42	39.1	34.5	27.4
1Cr-V 2%C, 1.2%Cr, 0.15%V		7836	443	48.9	14.1			46.8	42.1	36.3	28.2
Aceros inoxidables											
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20 559	22.8 585	25.4 606
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611
AISI316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606
Plomo	601	11340	129	35.3	24.1	39.7 118	36.7 125	34 132	31.4 142		
Magnesio	923	1740	1024	156	87.6	169 649	159 934	153 1074	149 1170	146 1267	
Molibdeno	2894	10240	251	138	53.7	179 141	143 224	134 261	126 275	118 285	112 295
Niquel Puro	1728	8900	444	90.7	23	164 232	107 383	80.2 485	65.6 592	67.6 530	71.8 562
Nicromo (80%Ni,20% Cr)	1672	84000	420	12	3.4			14 480	16 525	21 545	
Inconel X- 750 (73% Ni, 15% Cr 67% Fe	1665	8510	439	11.7	3.1	8.7	10.3	13.5 372	17 473	20.5 510	24 626
Niobio	2741	8570	265	53.7	23.6	55.2 188		274 249	283 274	292 283	301 301
Paladio	1827	12020	244	71.8	24.5	76.5 168	71.6 227	73.6 251	79.7 261	86.9 271	94.2 281
Platino: puro	2045	21450	133	71.6	25.1	77.5 100	72.6 125	71.8 136	73.2 141	75.6 146	78.7 152
Aleación 60Pt-40Rh (60%Pt,40%Rh)	1800	16630	162	47	17.4						
Renio	3453	2100	136	47.9	16.7	58.9 97	51 127	46.1 139	44.2 145	44.1 151	44.6 156
Rodio	2236	12450	243	150	49.6	186 147	154 220	146 253	136 274	127 293	121 311

Fuente: Yunus A. Cengel, M. *Transferencia de calor y masa –Un enfoque práctico.*

Anexo 6

PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA

Temp. T°C°	Presión de saturación P _{sat} Kpa	Densidad ρ Kg/m ³		Entalpia de vaporizac ión	Calor específico C _p J/kg°C		Conductividad térmica k W/m.°C		Viscosidad dinámica μ kg/m.s		Número de Prandtl, Pr		Coficiente de expansión volumétrica β 1/K
		liquido	vapor	h _{fg} kJ/kg	Liquido	Vapor	Liquido	Vapor	Liquido	Vapor	Liquido	Vapor	Liquido
0.01	0.6113	999.8	0.0018	2501	4207	1854	0.551	0.0171	1.792x10 ⁻³	0.922x10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068x10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519x10 ⁻³	0.934x10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015x10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0054	2479	4194	1862	0.680	0.0176	1.307x10 ⁻³	0.946x10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733x10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.689	0.0179	1.138x10 ⁻³	0.959x10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138x10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.688	0.0182	1.002x10 ⁻³	0.973x10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195x10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0031	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891x10 ⁻³	0.987x10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247x10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0301	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798x10 ⁻³	1.001x10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294x10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0094	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720x10 ⁻³	1.016x10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337x10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0612	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653x10 ⁻³	1.031x10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377x10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596x10 ⁻³	1.046x10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415x10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547x10 ⁻³	1.062x10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451x10 ⁻³
55	16.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.645	0.0208	0.504x10 ⁻³	1.077x10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484x10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467x10 ⁻³	1.093x10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517x10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433x10 ⁻³	1.110x10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548x10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404x10 ⁻³	1.126x10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578x10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4190	1948	0.667	0.0225	0.378x10 ⁻³	1.142x10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607x10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355x10 ⁻³	1.159x10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653x10 ⁻³
85	57.83	957.9	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333x10 ⁻³	1.176x10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670x10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315x10 ⁻³	1.193x10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702x10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297x10 ⁻³	1.210x10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716x10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282x10 ⁻³	1.227x10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750x10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.6263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255x10 ⁻³	1.261x10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798x10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232x10 ⁻³	1.296x10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858x10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213x10 ⁻³	1.330x10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913x10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.684	0.0301	0.197x10 ⁻³	1.365x10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970x10 ⁻³
150	475.8	919.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183x10 ⁻³	1.399x10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025x10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170x10 ⁻³	1.434x10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145x10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160x10 ⁻³	1.468x10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178x10 ⁻³
180	1002.1	887.3	5.163	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150x10 ⁻³	1.502x10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210x10 ⁻³
190	1254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142x10 ⁻³	1.537x10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280x10 ⁻³
200	1553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134x10 ⁻³	1.571x10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350x10 ⁻³
220	2318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122x10 ⁻³	1.641x10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520x10 ⁻³
240	3344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111x10 ⁻³	1.712x10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720x10 ⁻³
260	4688	783.7	23.60	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102x10 ⁻³	1.788x10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000x10 ⁻³
280	6412	750.8	33.16	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094x10 ⁻³	1.870x10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380x10 ⁻³
300	8581	713.8	46.16	1405	5750	5990	0.548	0.0695	0.086x10 ⁻³	1.965x10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950x10 ⁻³
320	11274	667.1	64.57	1233	6540	7900	0.509	0.0836	0.078x10 ⁻³	2.084x10 ⁻⁵	1.00	1.97	-
340	14586	610.5	92.62	1028	8240	11870	0.469	0.110	0.070x10 ⁻³	2.255x10 ⁻⁵	1.23	2.43	-
360	18651	528.3	144.0	720	14690	25800	0.427	0.178	0.060x10 ⁻³	2.571x10 ⁻⁵	2.06	3.73	-
374.14	22090	317.0	31.70	0	∞	∞	∞	∞	0.043x10 ⁻³	2.313x10 ⁻⁵	-	-	-

Fuente: Yunus A. Cengel, M. *Transferencia de calor y masa –Un enfoque práctico.*

Anexo 7

Emisividades de las superficies

a) metales

Material	Temperatura, k	Emisividad, ϵ	Material	Temperatura, k	Emisividad, ϵ
Aluminio			Magnesio	300-500	0.07-0.13
Pulido	300-900	0.04- 0.06	pulido	300-400	0.09- 0.12
Lámina comercial	400	0.09	Mercurin		
Intensamente oxidado	400-800	0.20-0.33	Molibdeno	300-2000	0.05-0.21
Anodizado	300	0.8	Pulido	600-800	0.80-0.82
Bismuto brillante	350	0.34	Oxidado		
Latón			Níquel	500-1200	0.07-0.17
Intensamente pulido	500-650	0.03-0.04	Pulido	4.50-1000	0.37-0.57
Pulido	350	0.09	Oxidado	500-1500	0.06-0.18
Placa mate	300-600	0.22	Platino	300-1000	0.02-0.07
Oxidado	450-800	0.6	pulido		
Cromo pulido	300- 1400	0.08- 0.40	Plata pulida	300-1001	0.17-0.31
Cobre			Acero	600-1000	0.30-0.40
Intensamente pulido	300	0.02	inoxidable		
Pulido	300-500	0.04-0.05	Pulido	300-500	0.08-0.14
Lámina comercial	300	0.15	Ligeramente oxidado	500-1200	0.20-0.32
Oxidado	600-1000	0.5-0.8	Intensamente oxidado	300	0.81
Oxidado en negro	300	0.78	Acero	300	0.05
Oro	300-1000	0.03-0.06	Lámina pulida		
Intensamente pulido	300	0.07	Lámina comercial	300-2500	0.03-0.29
Hojabrillante			Intensamente oxidado	3.500	0.39
Hierro	300- 500	0.05-0.07	Estaño pulido		
Intensamente pulido	300	0.44	Tungsteno	300-800	0.02-0.05
Hierro fundido	300- 500	0.28	Pulido	300	0.25
Hierro forjado			Filamento		
Aherrumbrado			zinc		
Oxidado			Pulido		
Plomo			oxidado		
Pulido	300	0.61			
Nooxidado áspero	500-900	0.64-0.78			
Oxidado					
	300-500	0.06-0.08			
	300	0.43			
	300	0.63			

Fuente: Yunus A. Cengel, M. *Transferencia de calor y masa –Un enfoque práctico.*

Anexo 8

Figura 26

Volumen con respecto al tiempo



Anexo 9

Figura 27

Ajuste de distribuidor del fluido



Figura 28

Ajuste del equipo hacia el recipiente



Anexo 10

Figura 29

Reajuste del grifo del gas



Figura 30

Ajuste del conducto hacia el recipiente





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL

Diseño, construcción y evaluación de un pre calentador de agua de uso doméstico y comercial a pequeña escala

Expositora: Isabel Florencia VILCA ALVIAR
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2261447

Resolución Decanal N° 172-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 19-12-2023.

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día jueves veintiuno de diciembre del año dos mil veintitrés, se reunieron la Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Isabel Florencia VILCA ALVIAR**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Cipriano MENDOZA ROJAS, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI y Ing. Jesus Javier PANIAGUA SEGOVIA, bajo la Presidencia del Mg. Cipriano MENDOZA ROJAS (Presidente encargado con Memorando N° 546-2023-UNSCH-FIQM/D), Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Diseño, construcción y evaluación de un pre calentador de agua de uso doméstico y comercial a pequeña escala**, presentado por la Bachiller **Isabel Florencia VILCA ALVIAR**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 172-2023-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Isabel Florencia VILCA ALVIAR**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treintaicinco minutos.

Finalizado la exposición del Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Ing. Jesús Javier PANIAGUA SEGOVIA, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI y Mg. Cipriano MENDOZA ROJAS. Luego el Presidente invitó al Mg. Julio Fernando PEREZ SAEZ para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

A continuación, el presidente del jurado invito a la sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO CATORCE (14).**



UNSCH

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL

Diseño, construcción y evaluación de un pre calentador de agua de uso doméstico y comercial a pequeña escala

Expositora: Isabel Florencia VILCA ALVIAR
Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias

Expediente N° 2261447

Resolución Decanal N° 172-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 19-12-2023.

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite a la Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, la Bachiller **Isabel Florencia VILCA ALVIAR**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las once de la mañana con cuarenta minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

Cipriano MENDOZA ROJAS
Presidente (e)

Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI
Miembro

Ing. Jesus Javier PANIAGUA SEGOVIA
Miembro

Mg. Fredy Rober PARIONA ESCLANTE
(Secretario Docente)

FACULTA DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, la Srta. Isabel Florencia VILCA ALVIAR egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor el Ing. Julio Fernando Pérez Sáez, la Tesis: Diseño, construcción y evaluación de un pre calentador de agua de uso doméstico y comercial a pequeña escala; y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 26% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha marzo 26 de 2024 e Identificador de la Entrega N° 2331868387.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, marzo 26 de 2024.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL
DE HUAMANGA
E.F.P. DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Ing. CIP Antonio J. Matos Alejandro
DIRECTOR

c.c. : Archivo digital.
Constancia N° 112

Diseño, construcción y evaluación de un pre calentador de agua de uso doméstico y comercial a pequeña escala

por Isabel Florencia Vilca Alviar

Fecha de entrega: 26-mar-2024 11:24a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2331868387

Nombre del archivo: Vilca_Isabel_Tesis_Final_Marzo_2024.pdf (1.39M)

Total de palabras: 13936

Total de caracteres: 69261

Diseño, construcción y evaluación de un pre calentador de agua de uso doméstico y comercial a pequeña escala

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%	27%	3%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	fdocuments.ec Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	5%
3	docslide.us Fuente de Internet	4%
4	www.slideshare.net Fuente de Internet	2%
5	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	archive.org Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	rd.udb.edu.sv:8080 Fuente de Internet	1%
9	repositorio.usfq.edu.ec Fuente de Internet	

		1 %
10	www.dspace.uce.edu.ec:8080 Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Consorcio CIXUG Trabajo del estudiante	<1 %
12	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
13	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
14	1library.co Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Internacional del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
16	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
18	bonga.unisimon.edu.co Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad de Deusto Trabajo del estudiante	<1 %
20	qdoc.tips Fuente de Internet	

<1 %

21

issuu.com
Fuente de Internet

<1 %

22

ri.ues.edu.sv
Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 30 words