



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR DE AGUA TIPO PLACA
PLANA UTILIZANDO QUEMADORES A GAS RECUPERADOS DE COCINAS
CHATARRIZADAS.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero/a Industrial

**AUTORES: ERIK JOEL OÑATE TAIPE
CINDY MIREYA GUILCASO MUZO**

TUTORA: XIMENA DEL ROCÍO BORJA VELA

Quito- Ecuador

2024

I

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Erik Joel Oñate Taipe con documento de identificación N° 0504322967 y Cindy Mireya Guilcaso Muzo con documento de identificación N°. 1753781721, somos los autores y responsables del presente trabajo titulado "Diseño y Construcción de un Calentador de Agua Tipo Placa Plana Utilizando Quemadores a Gas Recuperados de Cocinas Chatarrizadas"; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 30 de Julio del año 2024

Atentamente,



Erik Joel Oñate Taipe

CI. 0504322967



Cindy Mireya Guilcaso Muzo

CI. 1753781721

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN AL A UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Erik Joel Oñate Taipe con documento de identificación N°. 0504322967 y Cindy Mireya Guilcaso Muzo con documento de identificación N°. 1753781721, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR DE AGUA TIPO PLACA PLANA UTILIZANDO QUEMADORES A GAS RECUPERADOS DE COCINAS CHATARRIZADAS", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Industriales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de Julio del año 2024

Atentamente,

Erik Joel Oñate Taipe

CI 0504322967

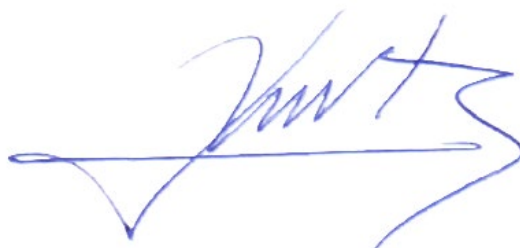
Cindy Mireya Guilcaso Muzo

CI 1753781721

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ximena del Rocío Borja Vela con documento de identificación N° 1711223584, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR DE AGUA TIPO PLACA PLANA UTILIZANDO QUEMADORES A GAS RECUPERADOS DE COCINAS CHATARRIZADAS", realizado por Erik Joel Oñate Taipe con documento de identificación N° 0504322967 y Cindy Mireya Guilcaso Muzo con documento de identificación N° 1753781721, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo de Titulación, que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana. Quito, 30 de Julio del año 2024

Atentamente,



Ing. Ximena Borja

DOCENTE TUTOR

ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
Antecedentes	2
Objetivos	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Capítulo I	5
1 Marco teórico.....	5
1.1 La transferencia de calor	5
1.2 Tipos de sistemas de transferencias de calor.....	5
1.2.1 La conducción.....	5
1.2.1.1 Variables que intervienen en la transferencia de calor por conducción.....	6
1.2.2 La convección.....	7
1.2.2.1 Variables que intervienen en la transferencia de calor por convección	7
1.2.3 La radicación	8
1.2.3.1 Variables que intervienen en la transferencia de calor por radiación	8
1.3 Calentador de agua	9
1.4 Sistemas de calentamiento de agua	9
1.5 Tipos de sistemas de calentamiento de agua.....	9
1.5.1 Sistemas eléctricos.....	9
1.5.2 Sistemas solares.....	10
1.5.3 Colectores planos.....	11
1.5.4 Bombas de calor	12
1.5.5 Calentadores de paso o instantáneos	12
1.5.6 Calentadores acumuladores (calderos y termo- tanques)	13

1.5.7	Calentadores a gas	14
1.6	Cocinas chatarrizadas.....	16
Capítulo II.....		17
2	Métodos y materiales.....	17
2.1.	Diseño de calentador de agua	18
2.1.1	Diseño térmico.....	19
2.1.2	Diseño hidráulico.....	19
2.1.3	Diseño mecánico.....	19
2.2	Principio de funcionamiento	21
2.3	Criterios de valoración	22
2.4	La transferencia de calor	23
2.5	Coeficiente de transferencia de calor por convención	24
2.6	Consideraciones estructurales y de durabilidad	26
2.7	Materiales y dimensiones	27
2.7.1	Diseño de la placa plana	28
2.7.2	Diseño de la estructura soporte.....	30
2.7.3	Posicionamiento y distribución	31
2.8	Simulación y validación del diseño.....	31
2.8.1	Herramienta de simulación.....	31
2.9	Ecuaciones del balance de energía del sistema	34
CAPÍTULO III.....		36
3	Construcción del calentador de agua tipo placa plana.....	36
3.1	Elaboración del calentador de agua.....	37
3.1.2	Construcción interna de la base del calentador de agua tipo placa plana ...	37
3.2	Adaptación de quemadores tipo flautas recuperadas de cocinas chatarrizadas	

3.3	Posicionamiento de las flautas de gas	39
3.3.1.	Ubicación de electrodos de encendido.....	40
3.4	Construcción de la placa plana.....	41
3.5	Cobertura del calentador tipo placa plana.....	42
3.6	Perilla de control de GLP (Gas Licuado de Petróleo).....	43
3.7	Tabla de costos	44
3.8	Tabla de resultados.....	45
3.9	Balance de energía del sistema.....	47
4	Conclusiones.....	50
5	Recomendaciones	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de transferencia de calor (Conducción, convección y radiación)[42]	5
Figura 2. Transferencia de calor por conducción [43].....	6
Figura 3. Transferencia de calor por convección [44].....	7
Figura 4. Transferencia de calor por radiación [45]	8
Figura 5. Calentadores de agua eléctricos [46].....	10
Figura 6. Calentador solar [47].....	11
Figura 7. Colector solar [48].....	12
Figura 8. Diagrama de flujo. Bomba de calor [49].....	12
Figura 9. Calentador de agua de paso o instantáneo [50].....	13
Figura 10. Termotanque [51].....	14
Figura 11. Quemador a gas de calentador de agua [52].....	14
Figura 12. Depósitos de acumulación de agua caliente [53]	15
Figura 13. Placa plana. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 14. Regulador de flujo de gas (GLP).....	20
Figura 15. Quemadores tipo flauta Fuente: Elaboración propia.....	21
Figura 16. Chapa metálica tipo bandeja.....	28
Figura 17. Chapas metálicas unidas.....	28
Figura 18. Placa plana, entradas y salidas de agua.	29
Figura 19. Placa plana con soportes perforados	30
Figura 20. Estructura interna del calentador.....	30
Figura 21. Diseño de los quemadores recuperados.....	31
Figura 22. Simulación de la transferencia de calor de los quemadores hacia la placa	32
Figura 23.Transferencia de calor por convección de la placa hacia el fluido.....	33
Figura 24. Base del calentador de agua tipo placa plana	38

Figura 25. Flautas recuperadas de cocinas chatarrizadas	39
Figura 26. Posicionamiento de flautas sobre base del calentador.....	40
Figura 27. Ubicación de electrodos de encendido	41
Figura 28. Montaje de placa plana y soporte	42
Figura 29. Instalación de cobertura para el calentador	43
Figura 30. Conexiones eléctricas	44

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	24
Ecuación 2.....	25
Ecuación 3.....	26
Ecuación 4.....	26
Ecuación 5.....	27
Ecuación 6.....	33
Ecuación 7.....	33
Ecuación 8.....	34
Ecuación 9.....	34
Ecuación 10.....	35
Ecuación 11.....	49
Ecuación 12.....	49

Resumen:

Se presenta el diseño y construcción de un calentador de agua tipo placa plana utilizando quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas. Dado el crecimiento de la demanda de soluciones económicas y sostenibles de calentamiento de agua, la investigación intentó comprender cómo se podría reutilizar los componentes en desuso para fabricar un sistema sencillo y funcional. Cumpliendo con la elaboración de una alternativa económica y sostenible que contribuya a un funcionamiento seguro para el calentamiento de agua. Se diseñó un prototipo utilizando el software SolidWorks y se construyó el equipo empleando materiales reciclados, principalmente quemadores tipo flauta recuperados de cocinas chatarrizadas. El sistema consta de una placa plana metálica que actúa como intercambiador de calor, quemadores a gas, una carcasa metálica y una estructura de soporte. Se realizaron pruebas para evaluar el funcionamiento, midiendo la temperatura en función del caudal. Los resultados mostraron su operación adecuada, elevando la temperatura del agua a 50°C. De este modo, se comprobó que es posible lograr la construcción de un equipo con características similares a sistemas convencionales de calentamiento de agua y a un costo significativamente más bajo. El proyecto encaja bien en la literatura actual en fuentes renovables y sostenibilidad ya que demostró ser una solución viable, económica y ecológica para el calentamiento de agua, especialmente en zonas con recursos limitados.

Palabras Clave: Calentador de agua, placa plana, quemadores recuperados, diseño sostenible, transferencia de calor, economía circular.

Abstract:

The design and construction of a flat plate water heater using gas burners salvaged from scrap cookstoves is presented. Given the growing demand for economical and sustainable water heating solutions, the research sought to understand how disused components could be reused to manufacture a simple and functional system. Fulfilling the main objective of developing an economical and sustainable alternative that contributes to safe operation for water heating. A prototype was designed using SolidWorks software and the equipment was built using recycled materials, mainly flute burners recovered from scrap stoves. The system consists of a flat metal plate that acts as a heat exchanger, gas burners, a metal casing and a support structure. Tests were carried out to evaluate the operation, measuring the temperature as a function of flow rate. The results showed its proper operation, raising the water temperature to 50°C. Thus, it was proven that it is possible to achieve the construction of equipment with similar characteristics to conventional water heating systems and at a significantly lower cost. The project fits well in the current literature on renewable sources and sustainability as it proved to be a viable, economical and ecological solution for water heating, especially in areas with limited resources.

Keywords: Water heater, flat plate, recovered burners, sustainable design, heat transfer, circular economy.

Introducción

El agua caliente, un recurso indispensable en los hogares y establecimientos comerciales, representa un consumo energético considerable, generalmente originado de sistemas que dependen de combustibles fósiles o electricidad, generando un impacto ambiental negativo.

La accesibilidad a agua caliente es un servicio básico. No obstante, en el 70% de las regiones del mundo, principalmente en áreas rurales y con bajos ingresos, el acceso a este servicio es difícil o inexistente. Esta situación se debe a la insuficiencia de infraestructura adecuada y al elevado costo asociado con los métodos tradicionales de calentamiento. [1]

La importancia de disponer de agua caliente en la vida cotidiana es incuestionable. [2] Partiendo desde el uso doméstico hasta el uso en aplicaciones industriales, el acceso al agua caliente es importante y fundamental para un amplio número de actividades que van desde la higiene personal, áreas de salud y procesos productivos en las industrias.[3]

En tal sentido, el desarrollo de una solución para el calentamiento de agua, como los calentadores solares o los calentadores a gas, son alternativas presentadas como oportunidades para mejorar la eficiencia energética en la satisfacción de las necesidades básicas de calefacción de agua. Aunque, estos mecanismos de calentamiento de agua por lo general resultan ser costosos para adquirir además de requerir infraestructura compleja para su instalación.[4]

Es por ello que en este proyecto se propone el diseño y la construcción de un prototipo de calentador de agua tipo placa plana utilizando quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas ya que se estima que el 90% de los hogares ecuatorianos utilizan cocinas de GLP [5]. Esta propuesta se basa en la utilización de materiales recuperados de equipos en desuso que en la mayoría de veces son desechados al ambiente provocando contaminación, lo que será aprovechado para la fabricación del calentador de agua disminuyendo los costos de adquisición e instalación del equipo.[6]

La viabilidad de este proyecto se sustenta en la disponibilidad de quemadores a gas en cocinas en desuso, los cuales, tras un proceso de recuperación y acondicionamiento, pueden

ser reutilizados para generar calor. Además, el diseño de un calentador de agua tipo placa plana permite una transmisión de calor y su aprovechamiento.

Antecedentes

El uso de calentadores de agua tipo placa plana comienza al siglo XX, cuando se desarrollaban los primeros modelos comerciales. Estos calentadores se caracterizaban por su diseño compacto y eficiente, al permitir el calentamiento casi instantáneo entre el agua y la fuente de calor. Sin embargo, su adopción se ha visto limitada debido a costos en comparación con otros tipos de calentadores de agua, sean de paso instantáneo o de almacenamiento. [6]

Actualmente la reutilización de recursos ha impulsado el desarrollo de tecnologías que aprovechan materiales desechados o de bajo costo para crear soluciones innovadoras. En el ámbito del calentamiento de agua, la reutilización de componentes de equipos electrónicos o electrodomésticos en desuso ha ganado importancia como una estrategia para el cuidado ambiental y promover la economía circular. [7]

En diversas comunidades de bajos ingresos, el acceso a agua caliente es un lujo inalcanzable. Los sistemas tradicionales de calentamiento de agua pueden tener costos muy elevados o requerir infraestructuras que no están disponibles en estas áreas, es por ello que la disponibilidad de agua caliente es un servicio básico no satisfecho especialmente en zonas como las descritas anteriormente. La media del consumo de agua a temperatura elevada en familias es de 30 a 40 litros por individuo, lo que figura un consumo de energía del 40% del total del hogar.[7]

La falta de acceso a agua caliente tiene severas consecuencias para la salud y el confort pleno de las personas. Por ejemplo, el aumento de enfermedades infecciosas, alergias, problemas dérmicos y problemas respiratorios.[8] También puede tener un efecto negativo en la calidad de vida de las personas, dado que restringe las actividades cotidianas. [9]

Como solución a esta problemática se tienen los calentadores de agua tipo placa plana que es un tipo de calentador caracterizado por su innovador diseño compacto y sencillo. Este

tipo de equipo está conformado por dos placas de metal entre las cuales circula el agua. El mecanismo de calentamiento de agua se dará por la combustión en un quemador de un combustible gaseoso como el GLP o gas butano.[10]

Los quemadores a gas se obtienen de las cocinas chatarrizadas que son una fuente potencial de materiales reciclables que pueden ser reutilizados para la construcción de diversos equipos, incluyendo calentadores de agua.[11] Los quemadores a gas son uno de los componentes más comunes y utilizados en la construcción de calentadores de agua tipo placa plana.[12] La utilización de estos quemadores a gas tiene una lista de ventajas como:

- Disminución de precios
- Disminución en la contaminación
- Aumento del cuidado al medio ambiente
- Difundir la economía circular

La reutilización de quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas es un aporte significativo para brindar soluciones de calentamiento de agua sostenible y sobre todo accesible para las comunidades de bajos ingresos.[13] Al utilizar partes y piezas recicladas y de costo bajo reduce significativamente los costos de fabricación de calentadores de agua tipo placa plana.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir un calentador de agua tipo placa plana utilizando quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas.

Objetivos específicos

Diseñar un prototipo a escala de laboratorio de un calentador de agua tipo placa plana sin depósito con quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas.

Construir un prototipo de calentador de agua tipo placa plana con quemadores recuperados de cocinas chatarrizadas.

Medir la temperatura final alcanzada en el agua en función del caudal.

Determinar los costos directos e indirectos que intervienen en la construcción del calentador de agua.

Capítulo I

1 Marco teórico

1.1 La transferencia de calor

La transferencia de calor es la técnica mediante la cual la energía térmica es transferida de un cuerpo o una sustancia a otro debido a que existe una diferencia de temperatura entre ellos. Este proceso es un acontecimiento que se desarrolla de forma natural y es importante en diversas aplicaciones de ingeniería, climatización, procesos industriales, y sistemas de calefacción y refrigeración. Es por ello que el diseño del calentador de agua tipo placa plana se basa en dos de los sistemas de transmisión de calor que son la conducción y convección. [15]

1.2 Tipos de sistemas de transferencias de calor

Existen tres sistemas de transferencia de calor los cuales se dan por conducción, convección y radiación.



Figura 1. Tipos de transferencia de calor (Conducción, convección y radiación)[42]

1.2.1 La conducción

El primer sistema de transferencia de calor es la conducción que se da por el contacto directo entre dos objetos o partes del mismo objeto. En este proceso se transfiere el calor de las moléculas con mayor energía cinética (más calientes) a las moléculas con menor energía cinética (más frías) a través de colisiones moleculares [16].

Parte de este proceso la conducción cumple una actividad molecular y atómica, ya que existen fases en estos rangos que apoyan esta forma de transmisión de calor, la transmisión de energía de las partículas con más energía de un elemento a causa de la actividad entre ellas se conoce como conducción [17].

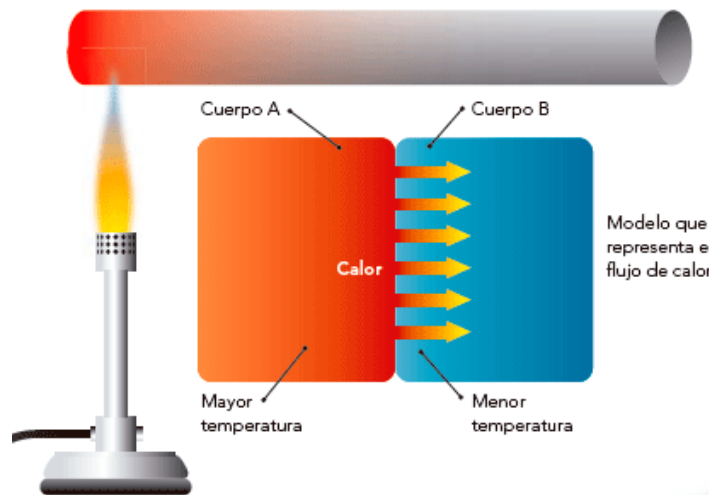


Figura 2. Transferencia de calor por conducción [43]

1.2.1.1 Variables que intervienen en la transferencia de calor por conducción

Conductividad térmica (k): Es la capacidad que posee un material para conducir calor.

Área de la sección transversal (A): Es la superficie a través de la cual se realiza la transferencia de calor.

Diferencia de temperatura (ΔT): Diferencia de temperatura entre los dos extremos del material.

Espesor del material (L): Es la distancia a través de la cual se da la transferencia de calor.

Tiempo (t): Tiempo en el que se da la transferencia de calor [1].

1.2.2 La convección

El segundo sistema de transferencia de calor es la convección en la que se tiene dos mecanismos su circulación molecular variada (difusión) y la energía es transmitida a través del movimiento macroscópico del fluido, existe un gradiente de temperatura, este tipo de movimiento ayuda en la transferencia de energía térmica, la transferencia global de calor se da por una anteposición de energía transportada entre la circulación aleatoria del fluido y la circulación aleatoria de las moléculas [18].

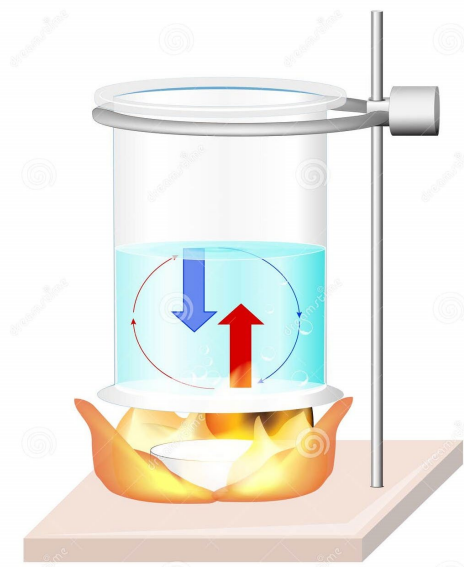


Figura 3. Transferencia de calor por convección [44]

1.2.2.1 Variables que intervienen en la transferencia de calor por convección

Coefficiente de transferencia de calor por convección (h): El valor que toma esta variable depende de las propiedades del fluido, la velocidad de flujo y la naturaleza de la superficie.

Área de la superficie (A): Es la superficie que está en contacto entre el sólido y el fluido.

Diferencia de temperatura (ΔT): Es la diferencia de temperatura entre la superficie del sólido y el fluido.

Velocidad del fluido (v): Esta variable influye en la transferencia de calor por convección forzada.

Propiedades del fluido: Viscosidad, densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica del fluido [1].

1.2.3 La radiación

La radiación es el tercer y último sistema de transmisión de calor en donde no se requiere de contacto físico o directo entre los objetos. En este proceso la energía calorífica se transfiere a los objetos a través de ondas electromagnéticas como la luz infrarroja [19]. El calor transferido es la energía que libera la materia a una temperatura limitada, puede ser obra de los cambios en la estructura electrónica de las moléculas o átomos constitutivos, sin importar la forma de la materia [15].



Figura 4. Transferencia de calor por radiación [45]

1.2.3.1 Variables que intervienen en la transferencia de calor por radiación

Emisividad (ϵ): Es la capacidad que posee una superficie para emitir radiación térmica.

Constante de Stefan-Boltzmann (σ): Es el valor constante que relaciona la radiación térmica que emite un cuerpo negro con su temperatura.

Área de la superficie (A): Es la superficie que emite la radiación.

Temperatura de la superficie (T): Es la temperatura del cuerpo emisor y se mide en Kelvin.

Temperatura del entorno (T_{env}): Es la temperatura del ambiente que rodea al cuerpo emisor [1].

1.3 Calentador de agua

Es un equipo o dispositivo térmico en donde su ciclo se entiende como un proceso termodinámico reversible que, es aquel en el que las propiedades del sistema (como presión, temperatura, volumen o entalpía) pueden cambiar, pero de tal forma que el sistema puede regresar a su estado inicial sin presentar ningún cambio permanente [14].

En resumen, un calentador de agua es un equipo esencial para el suministro de agua caliente para diversas utilidades. La selección del sistema adecuado depende de las necesidades o demanda específicas, el presupuesto, la disponibilidad de energía, el espacio útil disponible y las consideraciones ambientales [15].

1.4 Sistemas de calentamiento de agua

Consiste en un dispositivo o conjunto de componentes que eleva la temperatura del agua para ser utilizada específicamente en duchas, lavamanos, lavavajillas o procesos industriales.

1.5 Tipos de sistemas de calentamiento de agua

1.5.1 Sistemas eléctricos

Su funcionamiento se basa en una resistencia eléctrica y un termostato para elevar y conservar la temperatura del agua, este tipo de calentadores almacenan el agua en un tanque térmico aislado y se basan en la calidad del aislamiento térmico del tanque, a diferencia de los calentadores a gas que tiene una norma de etiquetado energético la cual se basa en la eficiencia del quemador [20]. Este tipo de equipos ofrecen facilidad de instalación, funcionamiento discreto y calentamiento casi instantáneo del agua. Sin embargo, es indispensable considerar

el consumo de energía eléctrica, el tiempo de calentamiento y el riesgo de fugas al optar por este tipo de calentador.



Figura 5. Calentadores de agua eléctricos [46]

1.5.2 Sistemas solares

Otro tipo de calentadores que se pueden encontrar son los solares que prácticamente está disponible los 365 días del año y se puede considerar una fuente inagotable de energía, este tipo de calentador es una alternativa para lograr reducir la emanación de contaminantes al ambiente que afectan día con día, estos calentadores pueden cubrir necesidades para uso doméstico e industrial, sin embargo, este mecanismo de calentamiento de agua se ve afectado en días lluviosos [21].

Un calentador solar está conformado por una placa de absorción la que se encarga de recibir la energía solar y convertirla en calor para transferirlo al agua, estas suelen ser hechas de materiales metálicos como el aluminio, el acero y el cobre [22]. Se conforman también de un conducto de circulación del fluido el mismo que tiene una fila de conductos por los cuales

puede circular el fluido, este mismo que capta y conduce la energía absorbida por la placa, la circulación de los fluidos puede realizarse a través de tubos colectores o serpentín [22].



Figura 6. Calentador solar [47]

1.5.3 Colectores planos

Son sistemas los cuales están constituidos de un material adecuado para realizar la transferencia de energía calórica, antes de llegar a la placa de absorción, que es el componente más influyente del colector al cual está incorporada la tubería por donde pasa el fluido térmico transportador del calor [23].



Figura 7. Colector solar [48]

1.5.4 Bombas de calor

Son dispositivos los cuales están diseñados y contruidos para captar la energía calórica del ambiente y calentar al agua, su funcionamiento se basa en el aire acondicionado con la diferencia que, en lugar de enfriar el aire del ambiente, lo calienta para transferir esta energía térmica al agua [24].

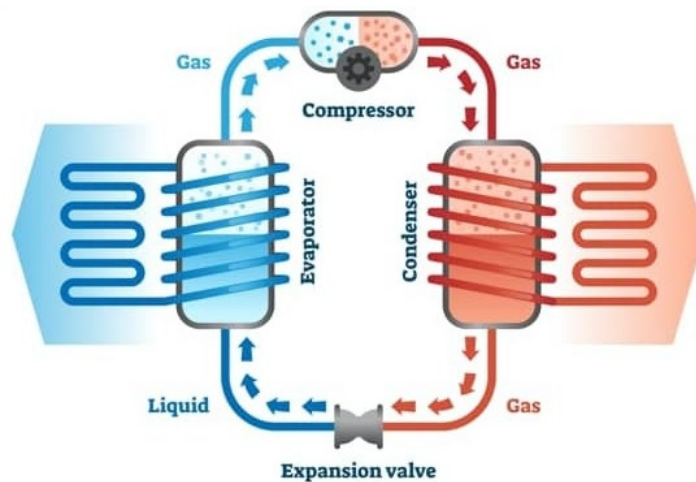


Figura 8. Diagrama de flujo. Bomba de calor [49]

1.5.5 Calentadores de paso o instantáneos

Es uno de los modelos más usados por su principal característica de calentar agua a medida que esta es consumida. El funcionamiento de este equipo se da a medida que el agua circula en el interior del serpentín se enciende el quemador principal elevando la temperatura del agua, este sistema alcanza temperaturas de aproximadamente 60 °C.

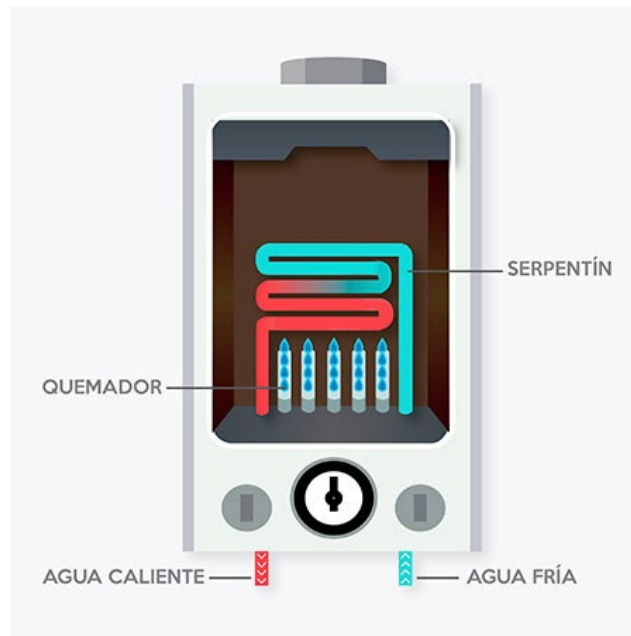


Figura 9. Calentador de agua de paso o instantáneo [50]

1.5.6 Calentadores acumuladores (calderos y termo- tanques)

El caldero actúa como el corazón de un sistema de calefacción cerrado, calentando el agua que circula por sus tuberías. Esta energía calorífica se obtiene a través de la combustión de combustibles gaseosos o líquidos como: gas natural, butano, diésel o gasolina.

Un elemento crucial del caldero es la bomba de circulación cuya función es la de impulsar el agua fría que ingresa al caldero, la cual se calienta al entrar en contacto con los gases calientes de la combustión. Esta agua caliente, ahora lista para brindar calor al hogar, es distribuida hacia los radiadores mediante el funcionamiento de la bomba.

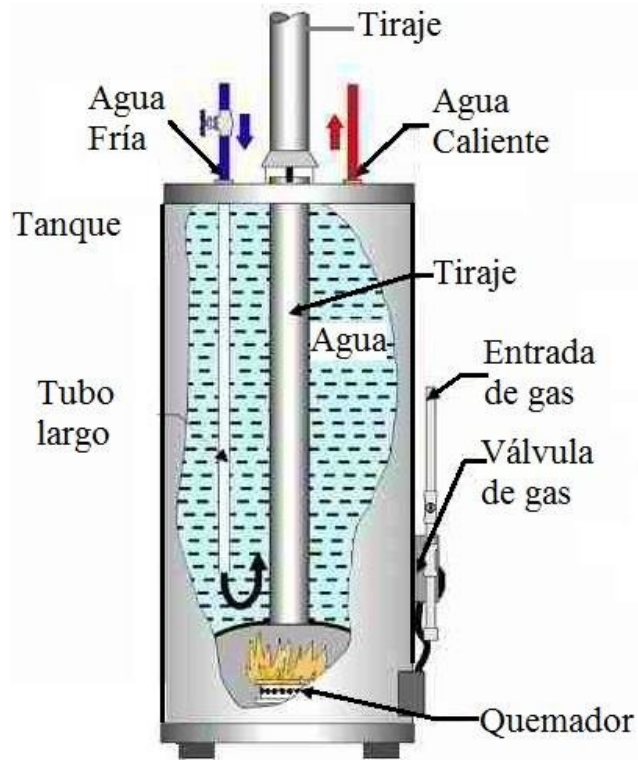


Figura 10. Termotanque [51]

1.5.7 Calentadores a gas

El mecanismo de calentamiento de agua a gas está equipado con quemadores que tienen la capacidad de calentar agua en pequeños periodos de tiempo lo que es considerado como casi instantáneo a medida que el agua fluye a través del sistema. Estos sistemas funcionan con gas propano, gas natural o GLP.



Figura 11. Quemador a gas de calentador de agua [52]

Del mismo modo, la mayoría de los mecanismos de calentamiento de agua disponen de un componente importante como lo es el depósito de acumulación que es el colector de agua que puede circular dentro de otro tanque, transmitiendo así calor al fluido que se encuentra en el interior, el tanque tiene que estar completamente aislado para mantener la temperatura deseada en el agua [22].



Figura 12. Depósitos de acumulación de agua caliente [53]

Se debe tomar en cuenta un elemento muy importante que se encuentra en todos los sistemas de calentamiento como lo es el aislante térmico el cual es fundamental para reducir las pérdidas de calor, el cual debe estar construido con materiales que presenten las siguientes características para su manejo y conservación: no debe desgastarse, resistencia a ciclos térmicos repetidos, baja conductividad térmica, no debe desmoronarse, comprimirse o pegarse cuando los ciclos térmicos se repiten [22].

El costo para calentar el agua puede ser tan elevado como el costo de la calefacción, para una vivienda eficiente en energía, en un clima templado. Los campos más comunes que se pueden ver más demandados son los de uso doméstico y en el campo laboral. El uso de agua caliente para el ámbito doméstico es complicado ya que se la utiliza para distintas actividades, según los cálculos e investigaciones se estima que, para una familia de 4 integrantes, con una

persona en la vivienda, podría ser tan elevado como 341 litros de agua caliente consumidos al día; una familia de dos integrantes, con ambas personas trabajando, podrían consumir solamente 189 litros al día [15].

Es posible reducir el costo del calentamiento de agua con medidas alternativas utilizando algún tipo de energía renovable lo que ayudaría a cumplir la reducción de costo al utilizar el agua caliente [25].

El diseño que se va a construir será utilizando quemadores a gas los mismo que serán recuperados de cocinas chatarrizadas para esto se necesitara el GLP que es una combinación de hidrocarburos formados especialmente por propano y butano que provienen del refinado del petróleo y del gas natural, su naturaleza es inodora, incolora, volátil y alta inflamabilidad [20].

1.6 Cocinas chatarrizadas

La generación por año de cocinas chatarrizadas en Quito se estima entre 126.000 y 147.000 unidades. Esta información es útil para llevar a cabo el diseño y la construcción del calentador de agua y disminuir costos comparados con mecanismos tradicionales de calentamiento de agua. Cabe destacar que la estimación presentada es aproximada y puede cambiar debido a diversos factores como la adquisición de nuevas tecnologías de cocción.[2]

Capítulo II

2 Métodos y materiales

El diseño de un calentador de agua tipo placa plana con quemadores a gas empezó con la selección de materiales en condiciones favorables de uso. La placa plana se construyó de un metal que permita la transferencia de energía calórica generada por los quemadores a gas al agua. Esta conformación se caracteriza por su sencillez, ya que la superficie de la placa permite una distribución uniforme del calor [29].

El siguiente paso para el diseño implica la incorporación de los quemadores a gas a la estructura interna. El quemador a gas se ubica debajo de la placa plana. Se deben considerar aspectos importantes como el tipo de combustible gaseoso más común, la presión y el diseño de los quemadores para asegurar que se lleve a cabo la combustión del GLP [30].

El diseño del sistema de circulación de agua garantiza un calentamiento uniforme. El agua fría ingresa la placa y circula por el interior entrando en contacto directo con la superficie calentada, absorbiendo el calor generado por los quemadores. Se debe asegurar el flujo constante y adecuado del agua para evitar puntos calientes y asegurar una temperatura uniforme en todo el sistema [31].

Para la construcción del calentador de agua tipo placa plana es importante la selección de materiales en buen estado de funcionamiento, que garanticen la durabilidad del equipo como el acero ASMT A36 del que se constituye toda la estructura de la cocina, que permite la transferencia de energía calórica suficiente generada por los quemadores de cocinas con la combustión del GLP.

El suministro de gas hacia los quemadores se da desde la válvula industrial conectada al cilindro de gas, luego pasa a través de tubería y por último por la válvula de control de flujo que es la encargada de regular la potencia de la llama.

La generación de calor ocurre una vez que los quemadores empiezan la combustión del GLP por la acción de los electrodos de encendido. La salida del agua caliente se da a través de la desembocadura ubicada en uno de los extremos de la placa plana, y el agua está lista para su uso deseado y aplicación necesaria.

El equipo genera calor suficiente gracias a los quemadores y un diseño adecuado de la placa, lo cual se logra una transferencia de calor necesaria alcanzando la temperatura objetivo, con lo que proporciona una solución práctica y accesible para satisfacer necesidades de calentamiento de agua en diversos entornos.

2.1. Diseño de calentador de agua

En el presente proyecto se implementó una metodología experimental la cual permitió verificar todas las propuestas para la construcción de la placa plana como los componentes que serán recuperados, en cuanto a la evaluación del funcionamiento se realizó pruebas controladas para evaluar la operación del calentador de agua en condiciones específicas, y esto incluye actividades como medir la temperatura del agua fría que ingresa, la temperatura de la llama, la temperatura del agua a la salida y el caudal del agua a la entrada y a la salida.

Aplicando esta metodología se pudo identificar los materiales necesarios para la construcción, además de reunir las herramientas necesarias para el montaje, todos los materiales como los quemadores recuperados fueron desmontados, limpiados, revisados para de esta forma garantizar su funcionalidad, además se realizó ajustes necesarios para su uso, la placa plana metálica se utilizó para crear una superficie la cual permita la transmisión de calor al agua.

El ensamble del calentador de agua se realizó con ayuda del software SolidWorks una vez que se simuló el equipo en el software se procede a la construcción, la cual inició por fijar las placas metálicas en una estructura metálica de soporte y resistente al calor, se instaló los quemadores en las placas, asegurándose de que estén correctamente alineados y fijados, previamente se añadió pequeños tramos de tubería para la entrada y salida de agua, así como para el suministro de gas a los quemadores.

Para la salida del agua caliente se verificó todas las conexiones y se realizaron ajustes necesarios. Este trabajo se enfoca principalmente en el diseño y construcción de un prototipo de calentador de agua sin colector, es decir el principio de calentamiento se dará de acuerdo a la demanda de agua calentando la misma de manera instantánea.

En este proyecto, el calentador de agua a gas se creó como un sistema simplificado y rudimentario, similar a una cocina, pero con la única función de calentar agua. Al no disponer de elementos de control como manómetros y termómetros se busca reducir costos y complejidad en la operación. La temperatura del agua será determinada principalmente por el diseño del calentador, la potencia de los quemadores y la cantidad de gas que se suministre.

2.1.1 Diseño térmico

El diseño térmico del calentador de agua se realizó de acuerdo a la cantidad y al estado de los materiales como las láminas metálicas y los quemadores que se encuentran en el horno de la parte inferior de la cocina. Se evaluó el estado de funcionamiento de los quemadores asegurando que se encuentren en condiciones adecuadas para la combustión del GLP. Se tomó medidas de los quemadores individualmente para realizar el diseño de lo que posteriormente será el quemador principal compuesto por cuatro quemadores individuales.

2.1.2 Diseño hidráulico

Implica el ingreso, control y circulación del agua a través del sistema para lograr el calentamiento del agua. El ingreso del agua a la placa plana se da a través de la tubería ubicada al costado de la misma. La circulación del agua ocurre entre dos láminas metálicas colocadas en paralelo, en una de ellas se aplica energía térmica por medio de la combustión del GLP en los quemadores la cual a su vez es transferida al agua. La salida del agua caliente se da a través de la tubería ubicada al lado opuesto de la tubería de entrada.

2.1.3 Diseño mecánico

El presente proyecto es sencillo y compacto para facilitar su transporte e instalación en lugares donde la infraestructura no es muy favorable [28]. El primer paso en la construcción

de este calentador de agua es recuperar los quemadores a gas de cocinas desechadas, asegurándose de que se encuentren en buen estado de funcionamiento. El calentador de agua está constituido por los siguientes elementos:

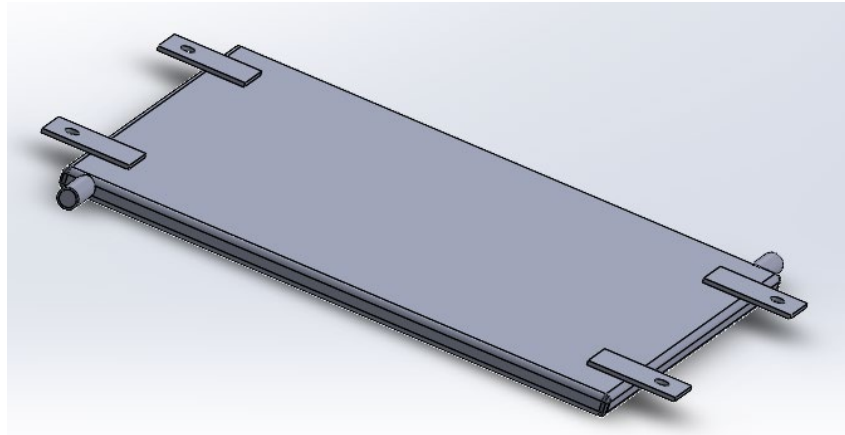


Figura 13. Placa plana. Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Regulador de flujo de gas (GLP)

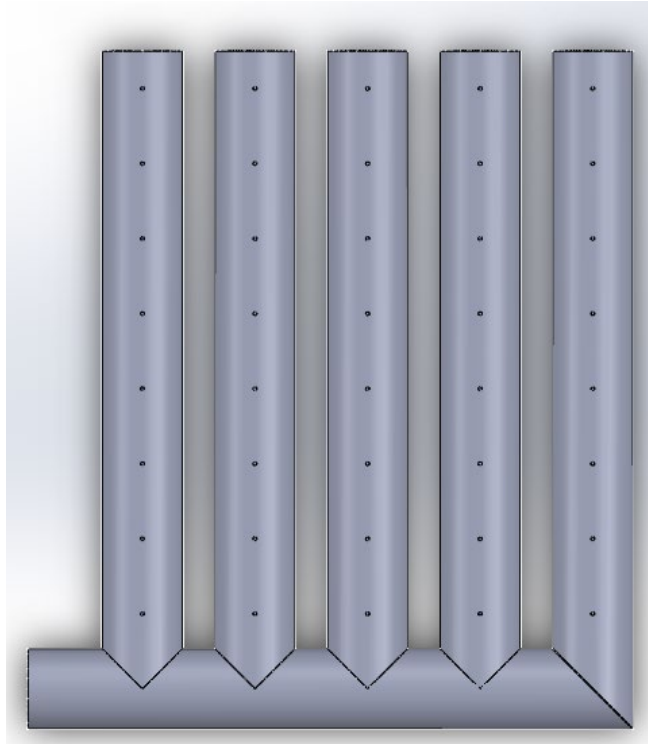


Figura 15. Quemadores tipo flauta Fuente: Elaboración propia

2.2 Principio de funcionamiento

El diseño y la construcción del calentador de agua tipo placa plana utilizando quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas presentan una solución sostenible para el calentamiento de agua. Este proyecto además de la reutilización de materiales que de otra manera se convertirían en residuos. La integración de quemadores reciclados en el diseño del calentador de agua optimiza el uso de recursos y reduce los costos de fabricación.

Como soporte principal se diseñó una estructura metálica interna que actúa como cuerpo de fijación de los elementos restantes que componen el equipo. Sobre esta estructura se fijan la placa plana y los quemadores a gas tipo flauta, que han sido recuperados y reacondicionados de cocinas chatarrizadas. Los quemadores son responsables de generar una llama controlada que calienta la superficie inferior de la placa y diseñada para distribuir el calor

de manera uniforme, lo que permite una transferencia de energía térmica al agua que circula formando una lámina en el interior de la placa.

El funcionamiento del calentador se basa en un proceso sencillo pero eficaz. El GLP se enciende en los quemadores, produciendo una llama que calienta la placa plana desde abajo. El agua fría ingresa al sistema a la placa plana y circula en su interior, donde absorbe el calor de la superficie de la placa generado por los quemadores. A medida que el agua circula, su temperatura aumenta, posteriormente sale del sistema a través de una salida de agua caliente. Este diseño permite un control de temperatura mediante la regulación manual de la válvula de control que ajustan el flujo de gas, el flujo de agua se regula en la llave de suministro de la vivienda.

Además, su diseño con quemadores de cocinas chatarrizadas añade un valor significativo en términos de sostenibilidad en donde reduce la necesidad de fabricar nuevos componentes, disminuyendo así la demanda de recursos naturales y la producción de residuos. Al prolongar la vida útil de los quemadores existentes, se contribuye a un ciclo de vida más sostenible para los materiales y se promueve una economía circular.

El diseño modular del calentador de agua tipo placa plana también facilita su mantenimiento y reparación. Los componentes recuperados pueden ser fácilmente reemplazados o actualizados.

2.3 Criterios de valoración

Para diseñar y construir este equipo se tomaron en cuenta los costos de construcción, modo de funcionamiento, la facilidad con la que se construyó el equipo y su respectivo mantenimiento.

Criterios	Descripción
------------------	--------------------

Costo de construcción	Relación que existe entre la adquisición de materiales y piezas que requiere el calentador de agua incluyendo la mano de obra.
Facilidad de construcción y diseño	Determina las dimensiones y selección de los componentes en buen estado que se pueden reutilizar de la cocina en desuso.
Facilidad de operación	Ejecución simple del calentado, disminuyendo riesgos y accidentes.
Mantenimiento	Reparación simple

Tabla 1 Criterios para el diseño y construcción del calentador de agua

2.4 La transferencia de calor

La transferencia de calor de este proyecto se basa en la transmisión de calor por convección desde la superficie sólida de la placa hacia el fluido en movimiento que en este caso es el agua y la transferencia de calor por conducción desde los quemadores hacia la superficie de la placa plana.

El coeficiente de convección, que mide el paso de calor entre la superficie de la placa y el agua, está determinado principalmente por la velocidad del fluido y el cambio de temperatura entre la superficie y fluido. En cuanto aumenta la velocidad del paso de agua, el coeficiente de convección también tiende a incrementarse. Esto se debe a que un flujo de agua más rápido mejora la capacidad del agua para absorber y transportar el calor desde la superficie de la placa. La turbulencia generada por un flujo más rápido reduce el grosor de la capa límite térmica, facilitando una transferencia de calor más efectiva. [35]

La diferencia de temperatura del agua es importante en el intercambio de calor. Un mayor diferencial de temperatura entre la superficie de la placa y el agua aumenta la tasa de transferencia de calor. La temperatura del agua afecta su viscosidad, lo que influye en la

capacidad del flujo para transportar calor. A temperaturas más altas, el agua se vuelve menos viscosa, lo que puede aumentar la turbulencia y, por ende, mejorar la transferencia de calor.

El flujo de agua se clasifica en tres tipos: laminar, turbulento y transicional, cada uno con diferentes efectos en el coeficiente de convección:

Flujo Laminar: el agua se mueve en capas paralelas sin mezclarse, produciendo una capa límite térmica más gruesa. [35]

Flujo Turbulento: el movimiento del agua es caótico y altamente mezclado, lo que reduce el grosor de la capa límite térmica y mejora la transferencia de calor. [35]

Flujo Transicional: El flujo transicional representa un estado intermedio entre laminar y turbulento. [35]

2.5 Coeficiente de transferencia de calor por convección

La cantidad de energía transferida por convección se describe mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$Q \text{ convección} = h A (T_s - T_f)$$

Q convección = Cantidad de energía calórica transferida por convección [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [Kelvin, $W/m^2 \cdot K$]

A = Área de la superficie en la cual ocurre la transferencia de calor [m^2]

T_s = Temperatura de la superficie sólida [$^{\circ}C$, K]

T_f = Temperatura del fluido [$^{\circ}C$, K]

donde el coeficiente de calor por convección h representado como: $W/m^2 \cdot K$. No se clasifica como una propiedad termodinámica, sino que representa una relación corta entre el estado del fluido y sus condiciones, se denomina común como una característica de circulación [9]. Se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 2

$$hA (T_s - T_f) = -kA \left(\frac{dT}{dy} \right)$$

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

A = Área de la superficie a través de la cual se transfiere el calor [m^2]

T_s = Temperatura de la superficie sólida [$^{\circ}\text{C}$ o K]

T_f = Temperatura del fluido [$^{\circ}\text{C}$ o K]

k = Conductividad térmica del material [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]

$\frac{dT}{dy}$ = Gradiente de temperatura en la dirección perpendicular a la superficie [K/m]

El coeficiente de convección en una situación particular puede ser evaluado al medir la cantidad de calor transferido y la diferencia de temperatura, o al observar el cambio de temperatura cercano a la superficie en combinación con la diferencia de temperatura. [37].

La capacidad de los quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas fue uno de los factores fundamentales a considerar, esta capacidad determinó la cantidad máxima de calor que se pueda proporcionar en los quemadores. [38] El área de la placa plana y el intercambio de calor fueron muy importante, ya que una mayor área de placa plana puede permitir un contacto más extenso entre el agua y la fuente de calor, lo que puede influir en el caudal adecuado, la distribución del agua sobre la placa, el diseño de la placa y la temperatura del agua en la entrada y salida. La velocidad que requiere el calentamiento influyó en el caudal adecuado ya que se consideró el volumen de agua en poco tiempo, un caudal menor garantiza un calentamiento rápido y eficiente.

Se analiza además el espesor de la placa del calentador de agua el cual influye en la velocidad de calentamiento del agua. El paso de calor es la cantidad de energía térmica que se proporciona al área de transmisión de calor, al gradiente de temperatura y a la conductividad térmica del material, y al espesor del material. El tiempo necesario para calentar el agua desde una temperatura inicial hasta una temperatura deseada puede influir en el diseño del espesor de la placa. Este tiempo de calentamiento está relacionado con la tasa de transferencia de calor y

la capacidad térmica del agua.

2.6 Consideraciones estructurales y de durabilidad

A medida que el espesor de la placa disminuye, la capacidad del calentador puede aumentar debido a una mayor transferencia de calor. Sin embargo, un espesor excesivamente delgado puede comprometer el funcionamiento de la placa.

La transferencia de calor se basa en la combustión del GLP. Este calor producido se transfiere a la superficie de la placa metálica por conducción. El cálculo de la transferencia de calor por conducción está dado por [39]:

$$\begin{aligned} &\text{Ecuación 3} \\ &Q=KA(T_2-T_1) \end{aligned}$$

En donde:

Q = Calor transferido por conducción[W]

K = Constante de conductividad térmica del material[W/(m²*K)]

A = Superficie de calentamiento de la placa[m²]

T_2 = Temperatura final de la superficie[K]

T_1 = Temperatura inicial de la superficie[K]

La temperatura absorbida por la placa se transfiere al agua que circula en su interior a través del mecanismo de convección. Por convección está dado [40]:

$$\begin{aligned} &\text{Ecuación 4} \\ &Q=mh (T_s-T_{\text{ambiente}}) \end{aligned}$$

En donde:

Q = Calor transferido por convección [W]

m = Cantidad de masa del fluido [Kg]

h = Constante de conductividad térmica del fluido por convección [W/(m²*K)]

T_s = Temperatura superficial de la placa [K]

T_{ambiente} = Temperatura del medio ambiente [K]

La eficiencia térmica del calentador de agua tipo placa plana con quemadores a gas se mide como la relación existente entre el calor transferido al agua y la energía proporcionada por el GLP. Los factores que afectan la eficiencia son la calidad de la combustión del gas, el diseño del quemador y la pérdida de calor al ambiente. Además, una mezcla adecuada de aire y gas garantiza una combustión completa, reduciendo las pérdidas energéticas y emisiones contaminantes [33].

La eficiencia energética está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 5}$$
$$\eta = \frac{Q_{conv}}{Q_{quem}} * 100$$

En donde:

η = Eficiencia térmica del calentador [%]

Q_{conv} = Calor transferido al agua por convección[W]

Q_{quem} = Calor proporcionado por el quemador[W]

2.7 Materiales y dimensiones

Para el diseño del calentador se requieren diversos materiales que garanticen la reducción de costos. Primero la estructura principal del calentador estará conformada de tubería cuadrada de acero ASTM A36 de 25x25x1.2mm debido a su bajo costo. [41]

En segundo lugar, los quemadores tipo flauta recuperados de la cocina están fabricados con latón conocido por su resistencia a la corrosión y su capacidad para distribuir el calor de manera uniforme. Los quemadores están diseñados para funcionar con GLP ofreciendo una combustión limpia. Además, se incluirá un sistema de encendido eléctrico de igual forma recuperado de la cocina en desuso.

Finalmente, las conexiones para la entrada de gas y agua se realizarán con acero, por su durabilidad y resistencia a la corrosión garantizando una operación sencilla y segura para las personas disminuyendo los riesgos y accidentes.

2.7.1 Diseño de la placa plana

Para el diseño de la placa plana se toma en cuenta el área útil de chapa metálica de la carcasa de la cocina que se puede utilizar. La placa plana está constituida por dos chapas metálicas tipo bandeja unidas mediante soldadura.

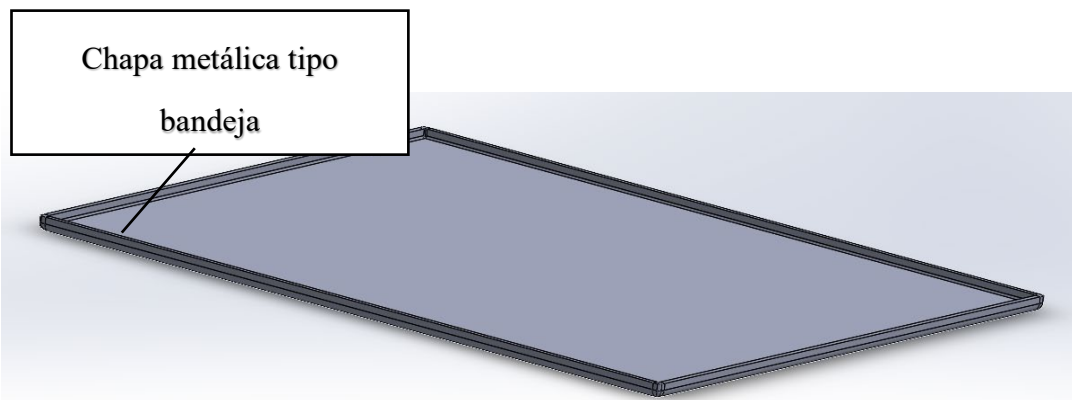


Figura 16.Chapa metálica tipo bandeja

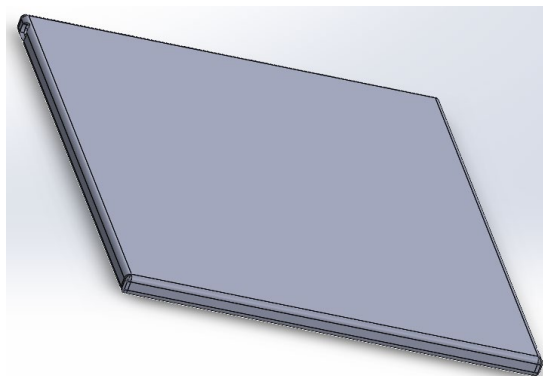


Figura 17.Chapas metálicas unidas.

Para la entrada y salida de agua, la placa plana consta de dos perforaciones de 9.5 mm de diámetro en los extremos opuestos con pequeños tramos de tubo metálico que facilitará la conexión al suministro de agua.

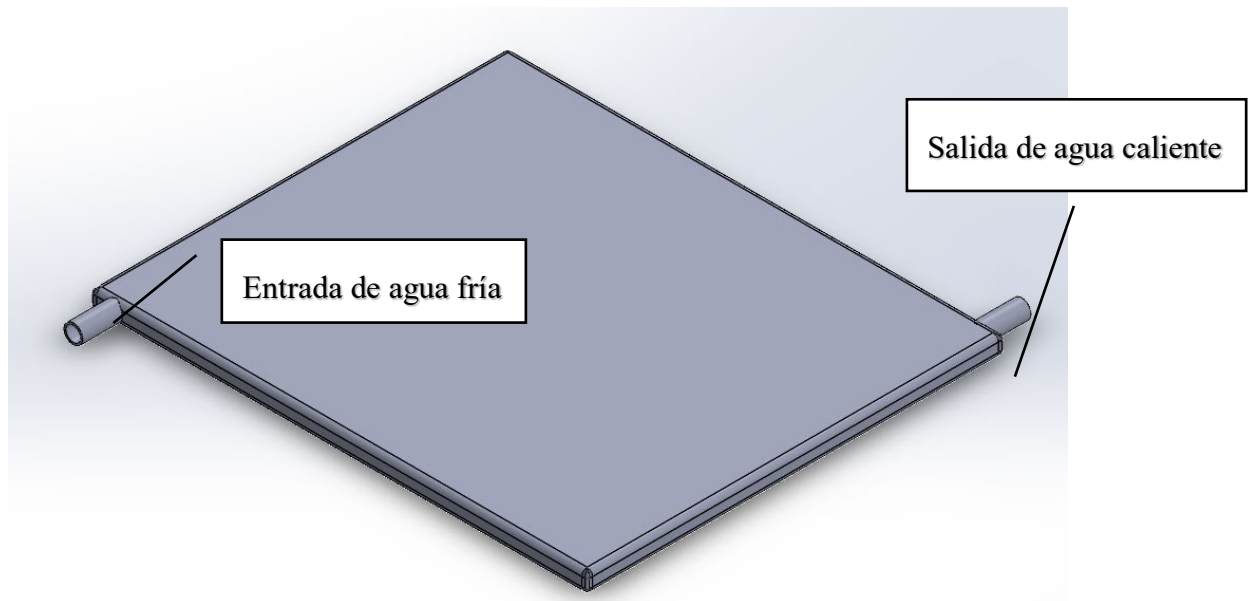


Figura 18.Placa plana, entradas y salidas de agua.

Para el ensamblaje, la placa plana consta de cuatro soportes perforados de dimensiones 40mm x 20mm y 2mm de espesor que facilitaran el anclaje a la estructura de soporte.

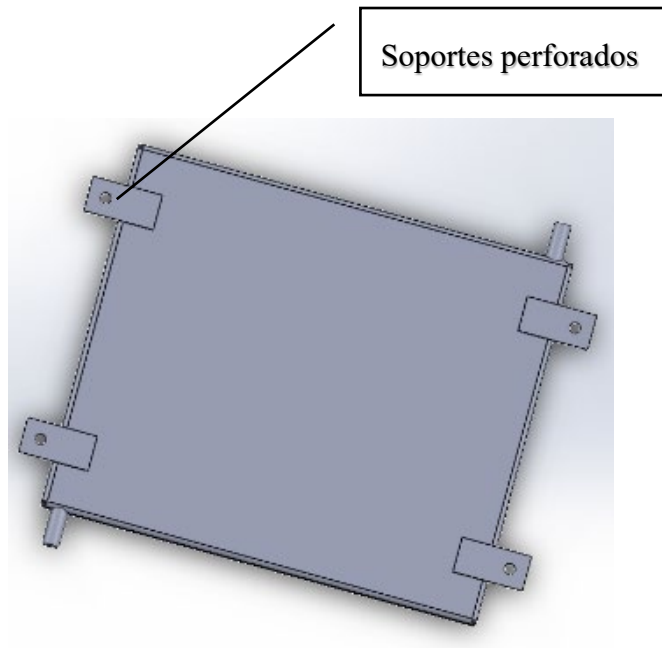


Figura 19.Placa plana con soportes perforados

2.7.2 Diseño de la estructura soporte

Para el diseño de la estructura soporte se utilizan tubos cuadrados de acero ASTM A36 de 20mm y 1.2mm de espesor. La estructura cuenta con placas en la parte inferior de las cuatro columnas que harán la función de sellar las secciones abiertas de la estructura y soporte para un posible anclaje del calentador de agua en superficies planas horizontales. Cada sección de la estructura está unida mediante soldadura.

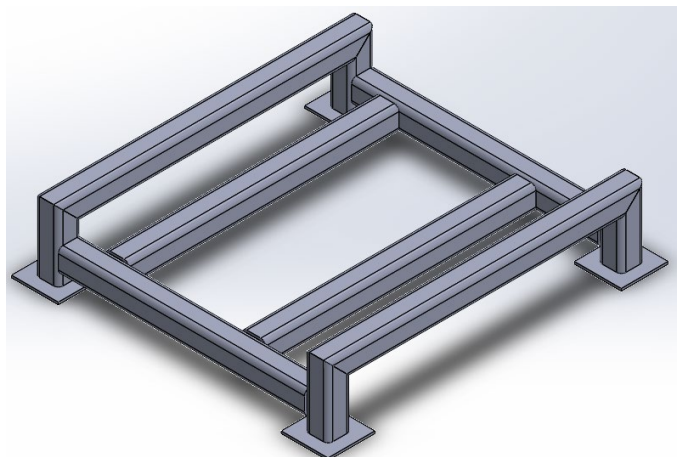


Figura 20.Estructura interna del calentador.

2.7.3 Posicionamiento y distribución

Para el sistema de calentamiento se reutilizarán los quemadores a gas tipo flauta que las cocinas disponen en la parte inferior del horno. Los quemadores están distribuidos de manera uniforme en la parte baja de la placa plana.

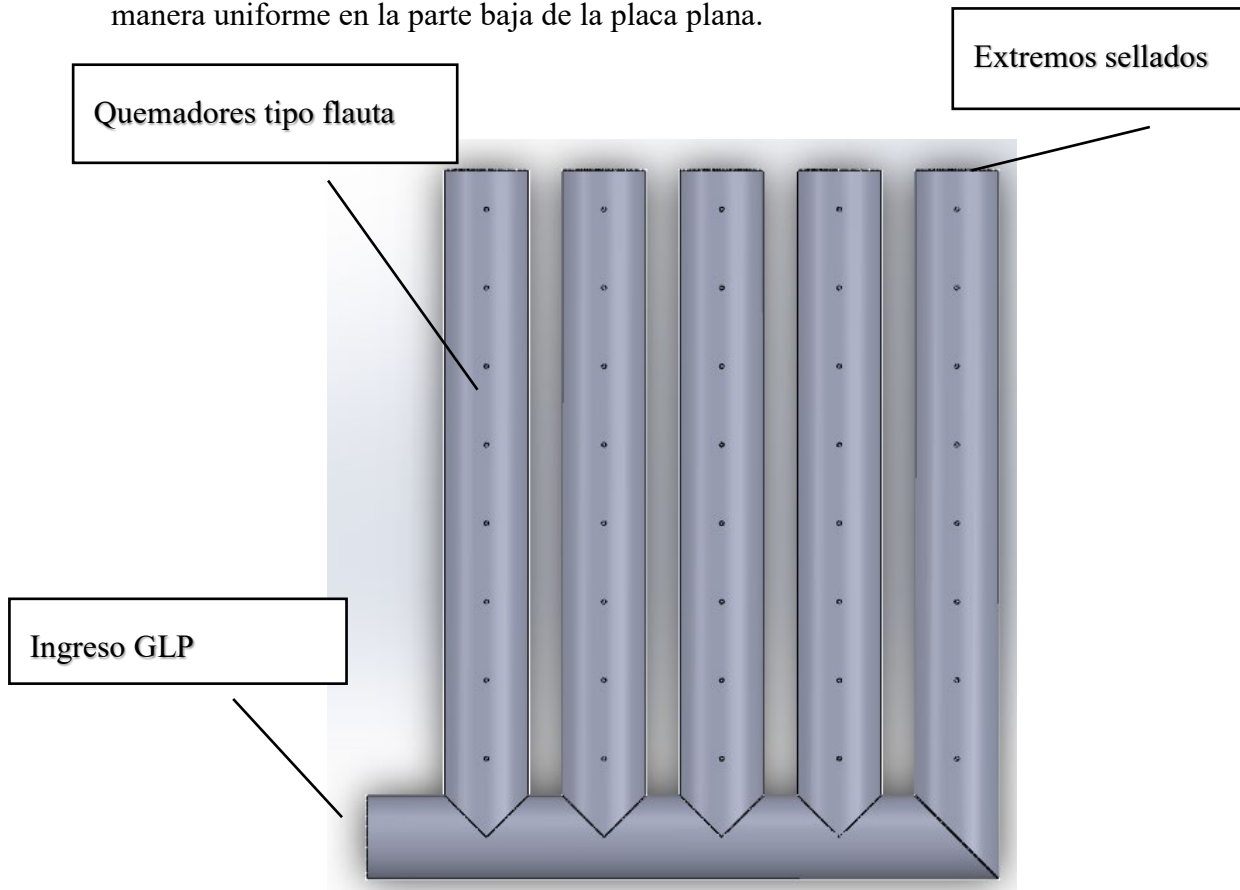


Figura 21. Diseño de los quemadores recuperados

2.8 Simulación y validación del diseño

2.8.1 Herramienta de simulación

Para la validación del diseño del calentador de agua se utiliza SolidWorks que es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza con frecuencia en labores de ingeniería para el modelado y la simulación. SolidWorks permite crear un modelo tridimensional detallado del equipo lo que permite realizar la validación del modelo virtual de manera precisa, de esta manera se puede realizar el análisis del diseño antes de proceder con la construcción.

Una de las más importantes funciones de SolidWorks es el análisis de datos mediante elementos finitos (FEA), que puede ser utilizado para simular el comportamiento térmico del calentador. Además de ofrecer la posibilidad de aplicar condiciones de operación reales, como el flujo de gas y agua, así como las temperaturas de trabajo, para prever como se distribuye el calor en la superficie de la placa.

En la figura 22, se observa la simulación de cómo se distribuye y transfiere el calor generado por los quemadores a la placa plana, la simulación se llevó a cabo utilizando un modelo tridimensional de la placa plana. Los parámetros clave del modelo incluyeron la conductividad térmica del material de la placa, y las condiciones de contorno, como la temperatura inicial y final del agua y la temperatura de la llama generada por el quemador.

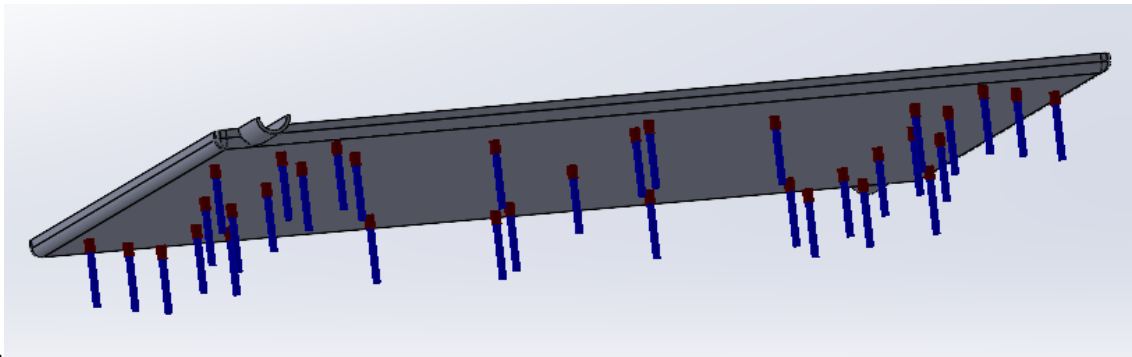


Figura 22. Simulación de la transferencia de calor de los quemadores hacia la placa

En la figura 23, se observa la transmisión de calor por convección del área de contacto de la placa plana hacia el fluido. Esto incluye la distribución de temperatura en la placa y el agua, así como la respuesta del sistema a cambios en las condiciones de entrada, como la temperatura del agua y la capacidad de los quemadores.

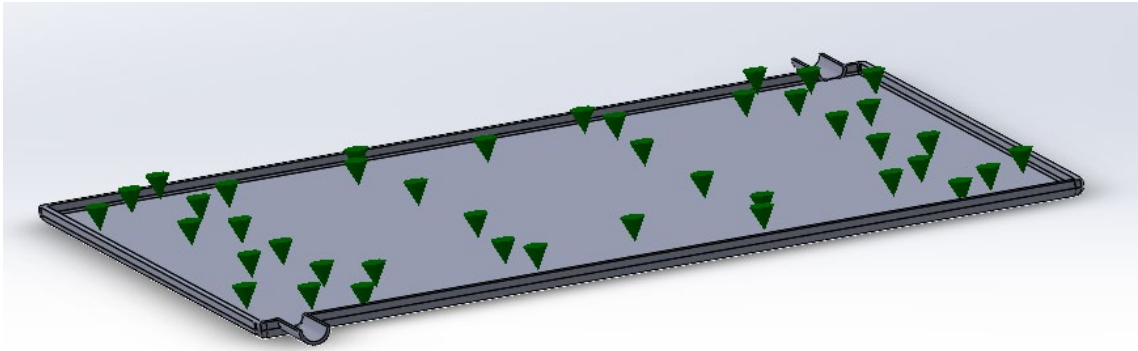


Figura 23. Transferencia de calor por convección de la placa hacia el fluido.

La transferencia de calor por conducción está dada por:

Ecuación 6

$$Q = KA(T_2 - T_1)$$

En donde:

Q = Calor transferido por conducción [W]

K = Constante de conductividad térmica del material [45 W/(m²*K)]

A = Superficie de calentamiento de la placa [5.25m²]

T_2 = Temperatura propuesta a la que debe llegar la superficie [323.15K]

T_1 = Temperatura aportada por el quemador [423.15K]

Reemplazando se obtiene:

$$Q = 45 * 5.25(323.15 - 423.15)$$

$$Q = 176.31 \text{ W}$$

La transferencia de calor al agua por convección está dada por:

Ecuación 7

$$Q = mh (T_s - T_{\text{ambiente}})$$

En donde:

Q = Calor transferido por convección [W]

m = Cantidad de masa del fluido [0.349L]

h = Constante de conductividad térmica del agua por convección [0.58 W/(m²*K)]

T_s = Temperatura superficial de la placa[333.15K]

T_{ambiente} = Temperatura del ambiente (agua) [288.15K]

Reemplazando se obtiene:

$$Q = 0.349 * 0.58(333.15 - 288.15) LxW/m^2 K *K$$

$$Q = 9.11W$$

2.9 Ecuaciones del balance de energía del sistema

Para evaluar la transferencia de calor con variables que se pueden medir en la experimentación se optó por evaluar la energía entregada por el gas y el calor ganado por el agua. Para la evaluación del intercambio de calor del sistema se tomó como datos el peso inicial del cilindro de GLP y el peso final luego de realizar una serie de 50 mediciones de temperatura al azar en el transcurso de 6 horas. El peso del cilindro se obtuvo con la ayuda de una balanza digital.

Este cálculo viene dado por:

Ecuación 8

$$GLP_{\text{consumido}} = \text{peso1} - \text{peso2}$$

En donde:

GLP_{consumido} = masa de gas durante el tiempo que duraron las mediciones

Peso1 = Peso del cilindro al inicio de la operación del equipo

Peso2 = Peso del cilindro al finalizar las mediciones de temperatura del agua

Se trabajó con el poder calorífico inferior del GLP de 11.87 Kcal/Kg. [3]

Con estos valores se puede determinar el calor entregado por el sistema, está dado por:

Ecuación 9

$$Q = PCI_{\text{gas}} * m_{\text{gas}}$$

En donde:

Q = Calor entregado por el sistema

PCI_{gas} = Poder calorífico inferior del GLP

m_{gas} = Masa de gas consumida durante la experimentación

El cálculo del calor que necesita el agua para calentarse viene dado por:

Ecuación 10

$$Q = mC_p\Delta T$$

En donde:

Q = Calor que necesita el agua para calentarse

m = Masa de agua

C_p = Calor específico del agua

ΔT = Diferencial de temperatura del agua

Se debe tomar en cuenta que la masa del agua se calculó con la densidad que es de 1 Kg/L, esto quiere decir que 1 litro de agua posee una masa justo de 1Kg. [4] En este caso la placa plana tiene una capacidad de 0,349 L lo que equivale a 0.349Kg.

El calor específico del agua en condiciones normales es de 4.19 KJ/Kg K. [5]

CAPÍTULO III

3 Construcción del calentador de agua tipo placa plana.

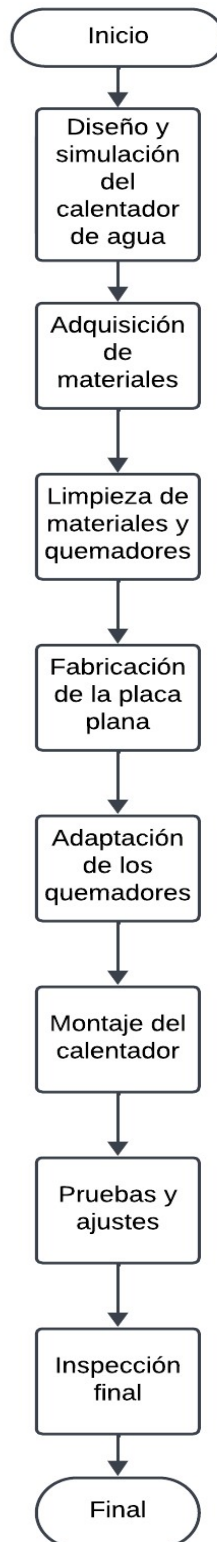


Figura 24. Diagrama de flujo para la construcción

3.1 Elaboración del calentador de agua

La construcción del calentador de placa plana comenzó con la preparación de la base, se utilizó un cuadrado de acero ASTM A36 de 25x25x1.5mm. Para realizar los cortes necesarios, se empleó una amoladora equipada con un disco abrasivo de corte para metal de 4"x 1/16, se hicieron cuatro cortes de 150 mm que formaron las patas de la estructura, para el soporte y estabilidad necesarios al calentador. Además, se realizaron cuatro cortes de 285 mm para conformar el área de la base, que sostienen los quemadores, se hizo un corte adicional de 285 mm en el centro de la estructura para ofrecer soporte adicional a los quemadores y evitar su desplazamiento durante el funcionamiento.

En el proceso de ensamblaje, se emplearon materiales y componentes como láminas metálicas ASTM A36 de 0.7 mm para fabricar la placa plana, mientras que los quemadores tipo flauta se instalaron para generar el calor suficiente para el calentamiento del fluido. Se integró un inyector de GLP para suministrar gas a los quemadores y se añadieron electrodos de encendido para iniciar la combustión del gas. La estructura se protegió con una lámina galvanizada ASTM A36 de 0.5 mm y se dió estética con un spray de pintura sintética para prevenir la corrosión, y se utilizaron tornillos de 1"x 1/4 para el ensamblaje de las partes, para incorporar las piezas metálicas se utilizó una suelda se usaron electrodos 6011.

Se incorporó una llave de paso de gas para controlar el flujo de GLP hacia los quemadores, y se instaló una tubería de entrada y salida de agua para facilitar la circulación del agua. Las conexiones eléctricas se realizaron con cable gemelo calibre 12 y terminales, mientras que el pulsador permitió activar el sistema de encendido. La manguera de gas de 1/2" con abrazaderas de 1/2" se utilizó para abastecer de gas al sistema, y la válvula industrial de gas proporcionó un control adicional del flujo de gas.

Durante el ensamblaje, se soldaron los soportes para los quemadores, previniendo fugas de gas y que determine un funcionamiento seguro. Este proceso de soldadura también reforzó la estructura, y aumente su durabilidad y resistencia al desgaste por uso continuo y exposición a altas temperaturas. El diseño en SolidWorks guió el corte y ensamblaje de cada pieza.

3.1.2 Construcción interna de la base del calentador de agua tipo placa plana

Para construir la estructura interna del calentador, se empezó con los cortes de los tubos cuadrados de acero ASTM A36 de 25x25x1.5 mm. Para los cortes, se utilizó una amoladora con un disco abrasivo de corte para metal de 4"x 1/16. Las dimensiones requeridas en el diseño

3D se marcaron en los tubos para asegurar los cortes, se realizaron cuatro cortes de 150 mm, que se utilizaron para formar los soportes de la estructura y estabilidad. También se efectuaron cuatro cortes de 285 mm para construir la base que sostiene los quemadores y se realizó un corte central de 285 mm en la estructura para ofrecer soporte adicional que mantenga la alineación de los quemadores.

Durante la fase de ensamblaje, las piezas cortadas se posicionaron conforme al diseño 3D. Los soportes de 150 mm se instalaron en las esquinas de la base para asegurar el equilibrio, mientras que las piezas de 285 mm se ensamblaron para formar el marco que sostiene los quemadores en su lugar. La unión de las piezas se llevó a cabo con ayuda de una suelda y con electrodos E6011, seleccionados por su capacidad para proporcionar una conexión robusta y duradera [10]. Se prestó especial atención a la alineación de las piezas durante la soldadura para garantizar que la estructura fuera estable.

Una vez completada la soldadura, se pasó al acabado estético de la estructura en donde se lijaron las áreas soldadas con el mismo disco de corte a cortos topes para así eliminar las irregularidades y suavizar las superficies. Luego, se aplicó una capa uniforme de spray de pintura sintética sobre toda la estructura para ofrecer protección contra la corrosión y mejorar su apariencia.



Figura 24. Base del calentador de agua tipo placa plana

3.2 Adaptación de quemadores tipo flautas recuperadas de cocinas chatarrizadas

Para adaptar los quemadores tipo flauta recuperados al calentador de agua tipo placa plana, se siguieron varios pasos. Primero, se inspeccionaron los quemadores para detectar

daños o desgaste, esta inspección incluyó una limpieza para eliminar residuos y que los quemadores estén en buen estado.

Luego, se selló uno de los extremos de cada quemador, este proceso evitó la fuga de gas (GLP) y que el gas se dirigiera de manera efectiva hacia la zona de combustión. Para sellar se utilizó una suelda y se soldó con electrodos 6011 para asegurar que el sellado y fugas. En el extremo opuesto del sellado, se instaló un canal redondo de 1/2" en acero galvanizado ASTM A36 el que facilitó un canal con el paso del GLP hacia los quemadores y permitió una distribución del gas.

Con los quemadores sellados y el canal instalado, se procedió a la disposición en el sistema del calentador y se verificó que los quemadores estuvieran alineados correctamente y las conexiones aseguradas para evitar cualquier problema durante el funcionamiento.



Figura 25.Flautas recuperadas de cocinas chatarrizadas

3.3 Posicionamiento de las flautas de gas

Se comenzó con la preparación del área de montaje y se limpió la base del calentador y las zonas de instalación para eliminar residuos que pudieran interferir.

Se colocaron los quemadores en las posiciones designadas sobre la base del calentador, una vez ubicados los quemadores, se marcaron los puntos de perforación en la base del calentador donde se instalarían los tornillos. Estos puntos se localizaron para que los quemadores estuvieran bien sujetos, para las perforaciones se utilizó una broca y un taladro del tamaño adecuado para los tornillos de 1"x 1/4.

Luego, se insertaron los tornillos en los agujeros perforados y se ajustaron con una llave para fijar los quemadores en su lugar, cada tornillo se apretó hasta que los quemadores estuvieron firmemente sujetos y se realizó una verificación para asegurarse de que los quemadores permanecieran alineados y no se movieran. Se revisó que no hubiera holguras ni desajustes que pudieran afectar el funcionamiento del calentador.



Figura 26. Posicionamiento de flautas sobre base del calentador

3.3.1. Ubicación de electrodos de encendido

Esta ubicación se realizó específicamente en el lado donde los quemadores tipo flauta fueron sellados, su ubicación permite que los electrodos generen una chispa directamente en el área donde el gas es conducido, y de esta manera se facilite el inicio del proceso de combustión.

Cada electrodo se conecta al sistema de encendido y se alinea para que produzca una chispa importante para encender el GLP que se suministra al quemador. Al iniciar un contacto con el gas, la chispa crea una llama que genera el calor necesario para calentar el agua a una temperatura de 50°C.

El calor producido por la llama se transfiere a través de la placa plana del calentador, donde se distribuye a los quemadores y se evita áreas frías durante la transferencia de calor. El sistema de encendido, compuesto por los electrodos de llama, mantiene el calentador a la temperatura deseada, que en este caso es de 50°C, los electrodos permiten que el calentador mantenga un rendimiento durante su uso prolongado y esto hace que el agua alcance y se mantenga a la temperatura requerida.



Figura 27.Ubicación de electrodos de encendido

3.4 Construcción de la placa plana

En la placa plana se incorpora dos canales diseñados para la circulación del agua. Uno de estos canales permite la entrada del agua al sistema, mientras que el otro facilita la salida del agua una vez que ha alcanzado una temperatura elevada 50°C . La ubicación de estos canales da función térmica del sistema, por lo que están posicionados encima de los quemadores, la placa plana recibe el calor generado por los quemadores, y facilita el calentamiento del agua en su interior. Además, la placa plana está sostenida en ambos extremos de la base del calentador de agua mediante soportes los que cumplen para que la placa permanezca firme en su lugar durante el funcionamiento del sistema.



Figura 28. Montaje de placa plana y soporte

3.5 Cobertura del calentador tipo placa plana

La cobertura del calentador de agua tipo placa plana se construyó con lámina galvanizada ASTM A36 de 0.5 mm de grosor, material ligero y fácil de manejar. Se optó por esta ya que protegerá los componentes internos del calentador y fue diseñada para ajustarse a la estructura del calentador, haciendo que los quemadores, los electrodos de llama estén resguardados.

Para instalar la cobertura, primero se cortó la lámina galvanizada con las siguientes dimensiones de (1160mm de longitud x 140 mm de altura) , de acuerdo con el diseño del calentador. Luego, se fijó la lámina a la estructura del calentador y se utilizó tornillos para asegurar que quedara alineada y ajustada. Los bordes de la lámina se soldaron o se fijaron con abrazaderas para evitar cualquier desajuste.

Una vez colocada la cobertura, se revisó cuidadosamente para asegurarse de que todos los bordes estuvieran sellados correctamente. Además de proteger los componentes internos, la cobertura contribuye al sistema térmico al mantener el calor dentro del calentador.

La facilidad para retirar y reinstalar la cobertura es una ventaja y simplifica el mantenimiento y las reparaciones, ya que se puede acceder rápidamente a los componentes internos sin dificultad. Al remover la cobertura, se pueden realizar ajustes o reparaciones necesarias sin complicaciones, de manera que el calentador continúe funcionando de manera óptima.



Figura 29.Instalación de cobertura para el calentador

3.6 Perilla de control de GLP (Gas Licuado de Petróleo)

Se instaló una perilla para controlar la salida de GLP (Gas Licuado de Petróleo), que permite ajustar el flujo de gas, está diseñada para ser fácil de usar, permitiendo regular la intensidad del fuego con un simple giro. Lo que ayuda al ajuste del calor y la adaptación a diferentes necesidades de calentamiento contribuyendo la seguridad del sistema.

Junto a la perilla de control, se encuentra una salida específica para conectar la manguera de GLP, esta salida hace una conexión fija que permite que el gas se suministre al sistema. La manguera de GLP transporta el gas desde su fuente hasta los quemadores del calentador, la conexión de la manguera es sencilla, gracias al diseño de la salida

La ubicación de la salida para la manguera de GLP está para facilitar el acceso y evitar que la manguera se doble o se obstruya, para ser duraderas y resistentes al desgaste. Este diseño asegura que el sistema de control del gas permanezca operativo durante la vida útil del calentador, manteniendo un funcionamiento seguro y eficiente.



Figura 30. Conexiones eléctricas

3.7 Tabla de costos

El costo total para la construcción del proyecto fue de un total de \$60.00, a continuación, se presentan los detalles.

Unidad	Material	Precio Unitario (dólares)	Costo (dólares)
1	Tubo cuadrado de acero ASTM A36 de 25x25x1.5mm	7.00	7.00
3	Quemadores tipo flauta	1.33	4.00
1	Inyector de GLP	1.50	1.50
5	Electrodos de encendido	0.40	2.00
2	Spray de pintura sintética	3.50	7.00
	Tornillos 1"x 1/4	1.50	1.50
5	Electrodos 6011	0.60	3.00
1	Llave de paso de gas	5.00	5.00
1	Tubería de entrada y salida de agua	3.00	3.00
1	Lámina metálica ASTM A36 de 0.7mm	4.00	4.00
5	Cable gemelo calibre 12	0.20	1.00
5	Terminales	1.00	1.00

1	Pulsador	1.00	1.00
1	Manguera de gas ½"	1.50	1.50
1	Abrazadera ½"	1.50	1.50
1	Válvula industrial de gas	5.00	5.00
1	Lámina galvanizada ASTM A36 de 0.5mm	4.00	4.00
1	Disco abrasivo de corte 4"x 1/16	2.00	2.00
1	Disco Polifan Z60	3.00	3.00
	TOTAL		60.00

Tabla 2 Tabla de costos

3.8 Tabla de resultados

Para la temperatura, se utilizó un termómetro digital con lecturas exactas y facilitó no solo la medición, sino también la interpretación de los datos.

El caudal se midió con la ayuda de un recipiente volumétrico, se presenta en la tabla 3. Este método permite obtener una medición del flujo de agua que circula a través del sistema, así mismos datos recolectados para el análisis por el cual el agua no alcanza la temperatura de ebullición, no hay pérdidas de volumen por evaporación. Por lo tanto, el caudal de agua que entra en la placa es exactamente el mismo que el que sale, genera un flujo dentro del sistema.

Además de su eficiencia en el tiempo de calentamiento, el calentador de agua tipo placa plana es notable por su bajo consumo de gas. Los quemadores recuperados de cocinas chatarrizadas, a pesar de ser componentes reutilizados, funcionan de manera eficiente y optimizada, esto no solo contribuye a una reducción del dispendio de GLP (Gas Licuado de Petróleo), sino que también traduce en menores costos.

No	CAUDAL (Litros/Segundos)	TEMPERATURA (°C)
1	0,80	52,00
2	0,85	51,60
3	0,90	50,80
4	0,95	51,40
5	1,00	51,90

6	1,05	51,70
7	1,10	51,50
8	1,15	51,20
9	1,20	50,30
10	1,25	50,60
11	1,30	50,90
12	1,35	49,90
13	1,40	49,60
14	1,45	49,30
15	1,50	49,00
16	0,82	51,20
17	0,87	50,30
18	0,92	51,00
19	0,97	51,60
20	1,02	52,10
21	1,07	51,80
22	1,12	51,40
23	1,17	51,10
24	1,22	50,80
25	1,27	50,50
26	1,32	50,20
27	1,37	49,80
28	1,42	49,50
29	1,47	49,20
30	1,52	48,90
31	0,81	49,40
32	0,86	50,20
33	0,91	50,90
34	0,96	51,50
35	0,91	52,00
36	0,96	51,70
37	1,01	51,30

38	1,06	51,00
39	1,11	50,70
40	1,16	50,40
41	1,21	50,10
42	1,26	49,70
43	1,31	49,40
44	1,36	49,10
45	1,41	48,80
46	1,46	49,60
47	1,51	50,40
48	0,83	51,10
49	0,88	51,70
50	0,93	52,20
Promedio de temperatura		50.64
Desviación estándar		0.969

Tabla 3 Tabla de resultados

3.9 Balance de energía del sistema

Para obtener el valor del balance de energía del sistema se inició tomando los pesos del cilindro de GLP antes y después de la operación del equipo. Se obtuvieron los siguientes valores:

$$\text{Peso1} = 31.75 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso2} = 26.35 \text{ Kg}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8 se obtiene:

$$GLP_{consumido} = 31.75 - 26.35$$

$$GLP_{consumido} = 5.40 \text{ Kg}$$

La masa de GLP consumida durante las 6 horas de operación del equipo es de 5.40 Kg.

Para calcular el calor entregado por el sistema, reemplazando los datos en la ecuación 9 se obtiene:

$$Q = 11.87 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} * 5.40 \text{ Kg}$$

$$Q = 64.098 \text{ Kcal}$$

Resolviendo la ecuación se obtuvo como resultado la cantidad de calor entregado por el sistema.

El valor del calor entregado por el sistema por unidad de tiempo está dado por:

Ecuación 11

$$q = \frac{Q}{t}$$

En donde:

q = Calor entregado por el sistema por unidad de tiempo

Q = Calor entregado por el sistema durante toda la operación

t = Tiempo en segundos

Reemplazando se obtiene:

$$q = 64.098 \text{ Kcal} / 21600 \text{ s}$$

$$q = 0.002968 \frac{\text{Kcal}}{\text{s}}$$

El sistema entrega un calor de 0.002968 Kcal/s

Para calcular el calor que necesita el agua para calentarse se reemplazan los valores en la ecuación 10:

$$Q = 0.349 \text{ Kg} * 4.19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} * (323.15 \text{ K} - 288.15 \text{ K})$$

$$Q = 51.18 \text{ KJ}$$

Tomando en cuenta que 1KJ equivale a 0.24 Kcal aproximadamente. [6] El resultado anterior es igual en Kilocalorías es igual a 12.2323 Kcal

El valor del calor que necesita el agua para calentarse por unidad de tiempo está dado por:

Ecuación 11

$$q = \frac{Q}{t}$$

Reemplazando se obtiene:

$$q = \frac{12.2323 \text{ Kcal}}{21600 \text{ s}}$$
$$q = 0.000566 \frac{\text{Kcal}}{\text{s}}$$

Debido a que en el sistema no existe un trabajo el cálculo del balance de energía del sistema está dado por:

Ecuación 12

$$\Delta E = Q$$

En donde:

ΔE = Variación de la energía del sistema

Q = Calor que necesita el agua para calentarse

Reemplazando se obtiene:

$$\Delta E = 12.2323 \text{ Kcal}$$

4 Conclusiones

El presente proyecto de diseño y construcción de un calentador de agua tipo placa plana en donde se utilizó quemadores a gas recuperados de cocinas chatarrizadas ha demostrado ser una solución viable, económica y sostenible para el calentamiento de agua. Los resultados obtenidos muestran que el sistema es capaz de calentar agua de manera eficiente, y alcanza una temperatura promedio de salida de 50.6°C , lo cual es adecuado para la mayoría de las aplicaciones domésticas.

Los resultados de las mediciones de temperatura en función del caudal permitieron establecer una relación directa entre estas dos variables. A medida que aumenta el caudal de agua, la temperatura final alcanzada disminuye. Este comportamiento es esperado y se debe a que un mayor caudal implica una menor cantidad de tiempo de residencia del agua en contacto con la superficie caliente de la placa, lo que reduce la transferencia de calor.

El análisis de costos reveló que la construcción del calentador de agua tipo placa plana utilizando componentes recuperados y de bajo costo resulta en un sistema significativamente más económico. Los costos directos, asociados a la adquisición de materiales adicionales y componentes nuevos, fueron relativamente bajos. Los costos indirectos, como la mano de obra y el tiempo dedicado al diseño y construcción, también contribuyeron al costo total del proyecto.

El prototipo desarrollado en este proyecto representa un punto de partida para futuras investigaciones y desarrollos. Existen diversas oportunidades para mejorar el rendimiento del calentador de agua, como la mejora del diseño de los quemadores, la implementación de sistemas de control más sofisticados y la integración de materiales con mayor conductividad térmica. Además, el diseño modular del prototipo facilita su escalamiento para aplicaciones de mayor capacidad, lo que abre la posibilidad de su uso en sistemas de calentamiento de agua a mayor escala.

5 Recomendaciones

Se recomienda realizar pruebas adicionales con diferentes caudales y temperaturas de entrada del agua para optimizar aún más el rendimiento del calentador. Esto permitirá identificar las condiciones óptimas de operación y mejorar la eficiencia general del sistema. Asimismo, se sugiere investigar el uso de materiales aislantes más eficientes para reducir las pérdidas de calor y mejorar la eficiencia energética del calentador.

Para mejorar la precisión en el control de la temperatura y el consumo de energía, se propone desarrollar un sistema de control automatizado que regule el flujo de gas y agua. Adicionalmente, se recomienda explorar la posibilidad de integrar energías renovables, como paneles solares, para complementar el sistema y reducir aún más el consumo de GLP, lo que aumentaría la sostenibilidad del proyecto.

Se recomienda instalar el equipo en un espacio revestido con ladrillos refractarios ya que el calentador de agua genera una cantidad de calor considerable durante su funcionamiento. Esto ayuda a prevenir quemaduras accidentales, especialmente en niños o personas con movilidad reducida.

Es importante realizar un estudio de durabilidad a largo plazo de los componentes recuperados para determinar su vida útil en este nuevo contexto de uso. Esto ayudará a garantizar la fiabilidad y seguridad del calentador a lo largo del tiempo. Además, se sugiere desarrollar un manual de usuario detallado y un plan de mantenimiento preventivo para asegurar el funcionamiento óptimo y seguro del calentador.

Se recomienda investigar la posibilidad de escalar el diseño para aplicaciones comerciales o industriales, y tener en cuenta las modificaciones necesarias. Esto podría ampliar el impacto y la aplicabilidad del proyecto. Paralelamente, se sugiere realizar un análisis de ciclo de vida completo del producto para cuantificar su impacto ambiental en comparación con calentadores convencionales.

Se propone explorar colaboraciones con fabricantes locales y programas de reciclaje para establecer una cadena de suministro sostenible de componentes recuperados. Esto no solo mejoraría la viabilidad económica del proyecto, sino que también aumentaría su impacto positivo en la gestión de residuos. Adicionalmente, se recomienda continuar la investigación sobre la optimización de la geometría de la placa plana para mejorar aún más la transferencia de calor y la eficiencia general del sistema.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Naimi-Ait-Aoudia and E. Berezowska-Azzag, “Algiers carrying capacity with respect to per capita domestic water use,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 13, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2014.03.006.
- [2] J. Calle, J. Fajardo, and L. Sánchez, “Agua caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca,” *Ingenius*, no. 4, pp. 57–65, 2020, doi: 10.17163/ings.n4.2010.06.
- [3] R. Hall, K. R. O’Brien, S. Kenway, and F. A. Memon, “Heat loss from non-circulating domestic hot water pipes increases water consumption and energy demand,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 206, no. August 2023, p. 107658, 2024, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.107658.
- [4] Y. S. K. Reddy, A. M. Guruchethan, S. Singh, S. K. K. M. P. Maiya, and A. Hafner, “CO₂ heat pump integrated thermal storage for domestic hot water in hotels,” *J. Build. Eng.*, vol. 89, no. March, p. 109270, 2024, doi: 10.1016/j.jobbe.2024.109270.
- [5] C. F. Gould et al., “Government policy, clean fuel access, and persistent fuel stacking in Ecuador,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 46, pp. 111–122, 2019, doi: 10.1016/j.esd.2018.05.009.
- [6] M. E. Gómez-Yepes and L. V Cremades, “Estudio del Manejo del Plomo en Establecimientos de Tipografía, Reconstrucción de Baterías y Recicladores de Chatarra en el Departamento del Quindío, Colombia,” *Cienc. Trab.*, vol. 15, no. 46, pp. 7–11, 2019, doi: 10.4067/s0718-24492013000100003.
- [7] J. Guamán, M. García, D. Guevara, and A. Ríos, “Evaluación del Impacto Económico en Diferentes Escenarios de Implementación de Tecnologías Eficientes de Calentamiento de Agua en el Ecuador,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 12, no. 1, pp. 270–283, 2021, doi: 10.37116/revistaenergia.v12.n1.2021.52.
- [8] S. Yilmaz, S. Ergün, E. Ş. Çelik, M. Banni, E. Ahmadifar, and M. A. O. Dawood, “The impact of acute cold water stress on blood parameters, mortality rate and stress-related genes in *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids,” *J. Therm. Biol.*, vol. 100, no. July, pp. 1–7, 2021, doi: 10.1016/j.jtherbio.2021.103049.

- [9] R. Lewis, R. Scott, B. Bala, H. Jahan, J. Bartram, and T. Radu, “Household water use and greywater management in Khulna city, Bangladesh,” *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 259, no. March, p. 114376, 2024, doi: 10.1016/j.ijheh.2024.114376.
- [10] T. Egli et al., “Domestic hot-water boilers harbour active thermophilic bacterial communities distinctly different from those in the cold-water supply,” *Water Res.*, vol. 253, no. October 2023, p. 121109, 2024, doi: 10.1016/j.watres.2024.121109.
- [11] C. R. de Oliveira, A. M. Bernardes, and A. E. Gerbase, “Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation,” *Waste Manag.*, vol. 32, no. 8, pp. 1592–1610, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.04.003.
- [12] J. Hidalgo-Crespo, A. Velastegui-Montoya, P. Zwolinski, A. Riel, and J. L. Amaya-Rivas, “Formalization of recyclable waste transfer stations within the Grand Guayaquil,” *Procedia CIRP*, vol. 116, pp. 456–461, 2023, doi: 10.1016/j.procir.2023.02.077.
- [13] J. G. Dórea, “Neurodevelopment and exposure to neurotoxic metal(loid)s in environments polluted by mining, metal scrapping and smelters, and e-waste recycling in low and middle-income countries,” *Environ. Res.*, vol. 197, no. April, 2021, doi: 10.1016/j.envres.2021.111124.
- [15] A. R. M. MARCO ANTONIO CONDE SANCHEZZAMIR, “tesis.pdf,” UNAM – Dirección Gen. Bibl., 2014.
- [16] B. Hao, G. Sun, J. Zhang, X. Li, F. Xu, and K. Liu, “Heat transfer mechanism and performance optimization scheme of refractory oxide solid heat storage materials,” *Ceram. Int.*, vol. 50, no. 12, pp. 21686–21694, 2024, doi: 10.1016/j.ceramint.2024.03.281.
- [17] J. C. Burbano J., Á. Hernán Restrepo, and O. J. Sabogal E., “Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón,” *Sci. Tech.*, vol. 12, no. 31, pp. 85–90, 2021, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911639016>
- [18] W. Si et al., “Investigation of heat transfer mechanism affecting temperature homogeneity at polysilicon rods in a Siemens reduction furnace,” *J. Cryst. Growth*, vol. 636, no. November 2023, p. 127693, 2024, doi: 10.1016/j.jcrysgro.2024.127693.

- [19] Y. Zhang, C. Liu, X. Zheng, X. Zhao, L. Shen, and M. Gao, “Analysis of microwave heating uniformity in berry puree: From electromagnetic-wave dissipation to heat and mass transfer,” *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 90, no. 600, p. 103509, 2023, doi: 10.1016/j.ifset.2023.103509.
- [20] A. Ruz, “Diseño, construcción y pruebas de un quemador de gas. Estudio de diseño de torre precalcinatora para planta piloto de producción de Clinker [Tesis de pregrado],” 2019.
- [21] C. Barrientos, *Calentador Solar de Agua para Usos Domésticos con Control de Variable y Funcionamiento con Arduino*, vol. 1. 2021. [Online]. Available: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/uploads/2021/03/05-Calentador-Solar.pdf>
- [22] ANDRÉS CAMILO RODRÍGUEZ RENDÓN, “REDISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DOMÉSTICO USANDO UN CALENTADOR DE PASO A GAS,” *Univ. TECNOLÓGICA PEREIRA*, vol. 3, no. 2, pp. 13–22, 2021.
- [23] C. El and C. D. E. Agua, “Capítulo 9: el calentamiento de agua,” pp. 145–152.
- [24] J. Yogaraja, M. Mohanraj, J. Manikandan, and P. Muthusamy, “Performance of direct expansion photovoltaic-thermal evaporator assisted compression heat pump water heaters using a zeotropic mixture,” *Sol. Energy*, vol. 271, no. August 2023, p. 112435, 2024, doi: 10.1016/j.solener.2024.112435.
- [25] CCNNPURRE and CCONNSE, “Proyecto de norma oficial mexicana, PROY-NOM-027-ENER/SCFI-2019, rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares y de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como,” *D. Of.*, 2019.
- [26] M. Arab and A. Abbas, “Model-based design and analysis of heat pipe working fluid for optimal performance in a concentric evacuated tube solar water heater,” *Sol. Energy*, vol. 94, pp. 162–176, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.03.029.
- [27] G. Barone, A. Buonomano, V. Palmieri, and A. Palombo, “A prototypal high-vacuum integrated collector storage solar water heater: Experimentation, design, and optimization through a new in-house 3D dynamic simulation model,” *Energy*, vol. 238, p. 122065, 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.122065.
- [28] J. Rendall, A. Elatar, K. Nawaz, and J. Sun, “Medium-temperature phase change material integration in domestic heat pump water heaters for improved thermal energy

- storage,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 185, no. July, p. 113656, 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113656.
- [29] J. Zhou, J. Liu, H. Qi, and W. Shan, “Cross-phase automated structural design of modular buildings using a unified matrix method and multi-objective optimization,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 249, no. PC, p. 123788, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2024.123788.
- [30] K. N. Williams et al., “Fidelity and adherence to a liquefied petroleum gas stove and fuel intervention: The multi-country Household Air Pollution Intervention Network (HAPIN) trial,” *Environ. Int.*, vol. 179, no. August, 2023, doi: 10.1016/j.envint.2023.108160.
- [31] H. Ben Bacha, “Thermodynamic comparison of the operation of the HDH system with water heating or air heating in closed water circulation and semi-open-air circulation,” *Int. J. Thermofluids*, vol. 21, no. December 2023, p. 100535, 2024, doi: 10.1016/j.ijft.2023.100535.
- [32] Y. hang Wang, W. yan Song, and D. yong Shi, “Investigation of flameholding mechanisms in a kerosene-fueled scramjet combustor,” *Acta Astronaut.*, vol. 140, no. June, pp. 402–408, 2019, doi: 10.1016/j.actaastro.2019.09.010.
- [33] V. M. Soto Francés, J. M. Pinazo Ojer, and E. J. Sarabia Escrivá, “Multi-layered slab 1D conduction heat transfer for buildings discrete event simulations,” *J. Build. Eng.*, vol. 69, no. December 2022, p. 106318, 2023, doi: 10.1016/j.jobbe.2023.106318.
- [34] T. Zimmer et al., “Estimation of soil thermal properties using conduction and conduction–convection heat transfer equations in the Brazilian Pampa biome,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 338, no. November 2022, 2023, doi: 10.1016/j.agrformet.2023.109517.
- [35] I. B. Luis E. Juanicó, “Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=605763737001>,” *Rev. Técnica la Fac. Ing. Univ. del Zulia*, vol. 2, 2020.
- [36] S. Fernández, “TRANSFERENCIA DE CALOR.” Accessed: May 09, 2023. [Online]. Available: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm
- [37] O. . Jaramillo, “Centro de Investigacion en energía- Universidad Nacionala Autónoma de México,” pp. 1–33, 2020.

- [38] CCNNPURRE and CCONNSE, “Proyecto de norma oficial mexicana, PROY-NOM-027-ENER/SCFI-2016, rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares y de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como,” D. Of., 2019, [Online]. Available: [https://www2.aladi.org/nsfaladi/normastecnicas.nsf/09267198f1324b64032574960062343c/18e81630199e0b49032585b9005a1ffb/\\$FILE/Proy 027.pdf](https://www2.aladi.org/nsfaladi/normastecnicas.nsf/09267198f1324b64032574960062343c/18e81630199e0b49032585b9005a1ffb/$FILE/Proy 027.pdf)
- [39] M. Á. G. A. Johan sebastian Acevedo Niebles, “1 Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo,” pp. 1–97, 2023.
- [40] L. A. Mendoza Zélis, “Termodinámica,” Termodinámica, 2020, doi: 10.35537/10915/68983.
- [41] P. Korba, S. Al-Rabeei, M. Hovanec, I. Sekelová, and U. Kale, “Structural design and material comparison for aircraft wing box beam panel,” Heliyon, vol. 10, no. 5, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e27403.
- [42] *TRANSFERENCIA DE CALOR*. (2024). CONCEPTO. <https://concepto.de/wp-content/uploads/2019/11/transfencia-de-calor-e1573403204386.jpg>
- [43] Coello, C. (s. f.). *Mecanismos de transferencia de calor*. <https://termoycalor.blogspot.com/2019/12/mecanismos-de-transferencia-de-calor.html>
- [44] Designua. (2020, 22 diciembre). *La convección es la transferencia de calor dentro de los líquidos*. Dreamstime. <https://es.dreamstime.com/la-convecci%C3%B3n-es-transferencia-de-calor-dentro-los-l%C3%ADquidos-image134989055>
- [45] Nelly. (2021, 28 abril). *Propagación del calor: formas y ejemplos*. EducayCrea.com | Este Sitio Ha Sido Creado Para Compartir Con los Maestros y Estudiantes Material Educativo y de Salud. <https://www.educaycrea.com/2014/04/propagacion-del-calor-formas-y-ejemplos/>
- [46] España, C. (2022, 17 noviembre). *¿Qué calentador de agua eléctrico es de bajo consumo?* Cointra. <https://www.cointra.es/blog-que-calentador-de-agua-electrico-es-de-bajo-consumo/>

- [47] Adm-Gabriel. (2021, 21 septiembre). *Termotanques solares: ¿Cuánto tiempo tardan en calentar el agua?* FIASA. <https://fiasa.com.ar/termotanques-solares-cuanto-tiempo-tardan-en-calentar-el-agua/>
- [48] EcoInventos, R. (2024, 5 julio). *¿Qué es un colector solar? Tipos + para qué sirven.* EcoInventos. <https://ecoinventos.com/colector-solar/>
- [49] Certific, C. E. E. M.-. (2020, 10 julio). *CÓMO funciona una bomba de calor y CUÁNDO se considera energía renovable | Te explicamos el funcionamiento de una bomba de calor y su consideración como energía renovable.* <https://certific.es/como-funciona-bomba-calor-cuando-se-considera-renovable.html>
- [50] MN del Golfo. (2019, 9 octubre). *¿Cómo funciona un calentador instantáneo? - MN Home Center.* MN Home Center. <https://www.mndelgolfo.com/blog/reportaje/como-funciona-un-calentador-instantaneo/>
- [51] *Figura 14. Esquema de un termotanque a gas de acumulación de agua.* (s. f.). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-14-Esquema-de-un-termotanque-a-gas-de-acumulacion-de-agua_fig3_339358404
- [53] *La importancia de los depósitos de acumulación de agua caliente en las instalaciones.* (s. f.). Interempresas. <https://www.interempresas.net/Climatizacion/Articulos/366846-La-importancia-de-los-depositos-de-acumulacion-de-agua-caliente-en-las-instalaciones.html>