

**EVALUACION DEL AHORRO ENERGETICO EN UN PROCESO DE COCCION DE MAIZ
IMPLEMENTANDO COLECTORES SOLARES PARA EL PRECALENTAMIENTO DE AGUA**

**FREDY ALEJANDRO PEREZ MANZANO
MACCOY ADOLFO MATURANA SARRIA**

INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

MEDELLIN - ANTIOQUIA

2018

**EVALUACION DEL AHORRO ENERGETICO EN UN PROCESO DE COCCION DE MAIZ
IMPLEMENTANDO COLECTORES SOLARES PARA EL PRECALENTAMIENTO DE AGUA**

**FREDY ALEJANDRO PEREZ MANZANO
MACCOY ADOLFO MATURANA SARRIA**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO MECANICO

**Asesor de trabajo de grado:
ARLEY SALAZAR HINCAPIE
INGENIERO MECANICO**

MEDELLIN - ANTIOQUIA

2018

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	3
LISTA DE TABLAS.....	4
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCION.....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2. JUSTIFICACION:	8
3. OBJETIVOS	9
3.1. Objetivo general	9
3.2. Objetivos Específicos	9
4. REFERENTES TEORICOS	10
4.1. Transferencia de energía	10
4.2. Energía térmica absorbida	10
4.3. Fundamentos de la radiación térmica	11
4.4. Proceso de Cocción	14
4.5. Métodos de cocción.....	14
4.6. Calentamiento de agua usando colectores solares	15
4.7. Colectores solares.....	17
4.8. Tanque de almacenamiento:.....	22
4.9. Antecedentes.....	23
5. Metodología de la propuesta.....	26
6. Resultados del proyecto.....	30
6.1. Fase 1.....	30
6.2. Fase 2.....	33
6.3. Fase 3.....	41
7. Conclusiones	47
8. Recomendaciones.....	48
Referencias	49

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 SHGC y transmisividad solar para algunos tipos comunes de vidrios</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2 Métodos secos de cocción de alimentos y sus aplicaciones</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3 Métodos húmedos de cocción de alimentos y sus aplicaciones.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4 Ventas en principales municipios consumidores, número de cilindros/mes.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5 lista de piezas utilizadas en el montaje de la fase 1</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 6 lista de piezas utilizadas para el montaje de la fase 2</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7 datos de energía consumida y potencia absorbida por el maíz.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 8 datos de energía consumida y potencia absorbida por el agua</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 9 datos de calor latente de evaporización para cada experimento en agua a temperatura ambiente.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 10 energía total consumida y potencia térmica total para cada experimento con agua a temperatura ambiente</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 11 temperaturas semana 1</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 12 temperaturas semana 2</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 13 temperaturas semana 3</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 14 temperaturas semana 4</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 15. Datos para el cálculo de la energía cielo</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 16. Datos para el cálculo de la energía solar incidente</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 17. Datos para el cálculo de la energía solar usada.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 18. Datos de energía consumida y potencia absorbida por el maíz con agua precalentada en el sistema</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 19. Datos de energía consumida y potencia absorbida por el agua precalentada.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 20. Datos de calor latente de evaporización para cada experimento en agua a temperatura ambiente.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 21. Energía total consumida y potencia térmica total para cada experimento con agua precalentada.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 22. Porcentaje de energía ahorrada en el proceso de cocción usando GLP y agua precalentada en el colector solar de placa plana.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 23. Consumo de GLP (kg) para agua a temperatura ambiente y agua precalentada.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 24. Ahorro en los tiempos de cocción del agua a temperatura ambiente respecto al agua precalentada.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 25. Datos del costo del GLP consumido durante el proceso de cocción de maíz con agua a temperatura ambiente</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 26. Datos del costo del GLP consumido durante el proceso de cocción de maíz con agua precalentada.....</i>	<i>46</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Radiación directa y difusa que inciden sobre una superficie horizontal en la superficie terrestre.</i>	13
<i>Figura 2 sistema de calentamiento de agua termo solar activo.....</i>	16
<i>Figura 3 sistema solar para el calentamiento d agua pasivo.....</i>	16
<i>Figuran 4 Componentes de un colector solar plano</i>	17
<i>Figura 5 absorbedor tipo serpentín</i>	19
<i>Figura 6. Absorbedor tipo parrilla</i>	19
<i>Figura 8. Áreas características de un colector.....</i>	20
<i>Figura 9. Colectores cilindro-parabólico.....</i>	21
<i>Figura 10. Colector de placa plana sin cubierta.....</i>	21
<i>Figura 11. Colector de tubo de vacío</i>	22
<i>Figura 12 Esquema para la evaluación energética del proceso de cocción empleando únicamente GLP</i>	26
<i>Figura 13 Esquema para la evaluación energética del proceso calentamiento de agua empleando colectores solares de placa plana</i>	28
<i>Figura 14 Esquema para la evaluación energética del proceso de cocción con precalentamiento de agua usando colectores solares de placa plana</i>	29
<i>Figura 15 curva de calentamiento del proceso de cocción de maíz usando GLP como única fuente de calor.....</i>	32
<i>Figura 16 grafico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 1</i>	33
<i>Figura 17 grafico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 2</i>	34
<i>Figura 18 grafico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 3.....</i>	35
<i>Figura 19 grafico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 4.....</i>	36
<i>Figura 20. Caracterización de las temperaturas del día con menor radiación</i>	37
<i>Figura 21. Caracterización de temperatura del tanque para el día con menor radiación.....</i>	37
<i>Figura 22. Caracterización del día con mayor radiación.....</i>	38
<i>Figura 23. Caracterización de la temperatura del tanque para el día con mayor radiación</i>	39
<i>Figura 24. Curva de calentamiento del maíz durante el proceso de cocción con agua precalentada</i>	41
<i>Figura 25. Grafico comparativo de gasto energético</i>	44
<i>Figura 26. Grafico comparativo de tiempos de cocción</i>	45
<i>Figura 27. Estadísticas de precios promedio del GLP para el año 2017 (CREG, 2008).....</i>	45

INTRODUCCION

El gas natural y el gas licuado del petróleo (GLP), son tradicionalmente los energéticos utilizados para la cocción en los sectores residenciales y comerciales, debido a que estos son recursos no renovables lleva al agotamiento del petróleo, lo cual trae consigo un aumento significativo en el precio de sus derivados cómo es el (GLP) además son fuentes de energía productoras de gases contaminantes.

La sociedad trata de obtener nuevas fuentes de energía útil que contrarresten la producción de gases contaminantes, las cuales sean fuentes renovables y limpias para el planeta. Las investigaciones en los últimos años han dado como grandes opciones el aprovechamiento de la energía solar, eólica y marea-motriz. Siendo la energía solar la más ambiciosa con un sin número de aplicaciones para su aprovechamiento, por esta razón una de las alternativas para mitigar el impacto ambiental es la implementación de intercambiadores de calor.

El principal objetivo de la investigación es evaluar el ahorro energético utilizando un intercambiador de calor aplicado a un proceso de cocción de maíz, En este caso se decidió usar un colector solar de placa plana (CSPP). Éste es un dispositivo utilizado para aprovechar la energía de la radiación solar, (anderson) luego transformarla en energía térmica para el uso doméstico y comercial como climatización de piscinas y calentamiento de fluidos, etc. (anderson) Un colector solar de placa plana está constituido principalmente por una placa plana de madera que está unida a una red de tubos de cobre “El cobre y el aluminio son los materiales más apropiados para la red de tubería y la carcasa del CSPP por las siguientes características: alta conductividad térmica, baja capacidad calórica, bajo precio”. (Burbano, Juan Carlos, Hernan, Sabogal, & Oscar Julian , 2006) El revestimiento de la estructura del CSPP se hace con madera y capas de aislante en nuestro caso espuma de polietileno, además la superficie del revestimiento es de color negro para absorber calor y no dejarlo que escape al ambiente, Las ondas de radiación solar que impactan sobre la superficie del vidrio atraviesan esta y quedan atrapadas dentro del cajón de madera aislado, esto genera un efecto invernadero al interior del colector aumentado su temperatura, transfiriendo así el calor por convección natural alrededor de los tubos de cobre que están entre la superficie de madera aislada y el vidrio, dichos tubos elevan su temperatura generando un intercambio de calor entre los tubos de cobre y el líquido que fluye a través de ellos. Se utilizó un sistema CSPP para calentar agua, se usó esta agua previamente calentada en un proceso de elaboración de arepas con el fin de evaluar el ahorro de energético. Primero se caracterizó el consumo de gas licuado de petróleo en el procedimiento normalmente usado para la cocción del maíz, de segundo se hizo la caracterización del consumo del gas licuado de petróleo ingresando al proceso agua precalentada por el CSPP y por último se determinó el consumo y el ahorro energético que se obtiene al implementar colectores solares a procesos de cocción que usan como fuente primaria de energía el gas licuado de petróleo. De esta manera se buscó aprovechar la energía solar y disminuir la contaminación ocasionada por el uso de combustibles durante el proceso.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante años se ha llevado a cabo la explotación de fuentes de energías primarias que ha provocado el agotamiento de combustibles fósiles, estos se empezaron a explotar y a utilizar cuando inicio la revolución industrial a partir el año 1775, desde entonces, los combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural empezaron a explotarse. Como una inminente y actualmente preocupante consecuencia se empezó a presentar la contaminación al medio ambiente por los químicos que liberan estos combustibles al ser utilizados. La alta dependencia de estos combustibles en todo tipo de procesos conlleva que los costos de dichos combustibles sean muy elevados. Por ende, en procesos industriales el precio de estos combustibles se convierte en un factor significativo.

En los EE.UU, las fuentes de energía residenciales primarias para cocinar son la electricidad (63% de la población) y gas natural (35%), sin embargo, el uso de aparatos de gas natural en los EE.UU. es mayor a medida que los hogares aumentan su tamaño e ingresos. Hay una pequeña porción (5%) de la población que utilizan propano o GLP, así como queroseno (0,3%) y madera (1,5%). En Europa, la mayoría de los aparatos de la cocina son eléctricos, sólo una pequeña fracción de los aparatos corresponden a hornos de gas (16%) y estufas (36%). (Tiffany, Hager, & Morawicki, 2013).

En la capital colombiana las fuentes de energía residenciales primarias para cocinar son el GLP (60,30%) de la población, gas natural un (27,30%), otros (12,4%). el Gas Licuado de Petróleo (GLP) y el gas natural, son ampliamente utilizados a nivel residencial. (afanador, zapata, yepes, Cajiao, & castillo, 2013)

En el departamento de Antioquia, Actualmente existe una fábrica productora de arepas, la cual utiliza combustibles fósiles para la elaboración de sus productos. Dicha empresa plantea, a forma de proyecto, un enfoque en el ahorro energético que se llevó a cabo en el proceso de cocción del maíz. De acuerdo con este panorama se hace imprescindible implementar sistemas que utilicen energías alternativas.

La institución universitaria pascual bravo, cuenta con un colector solar de placa plana el cual se puede utilizar para simular y determinar el ahorro energético que existe al precalentar agua en un ambiente similar al de la empresa anteriormente citada.

2. JUSTIFICACION:

El consumo de energía en el mundo exige cada día una demanda mayor y el sector alimenticio no es la excepción, existe gran variedad de métodos para la elaboración de alimentos uno de ellos es la cocción de los mismos, una gran parte de la población mundial hace uso del (GLP) combustible fósil para la cocción de alimentos. Los combustibles fósiles fuente primaria de energía alrededor del mundo han dejado huella por su alta generación de gases contaminantes, provocando un gran impacto ambiental denominado calentamiento global, éste es un problema a nivel mundial dado por la emisión excesiva de gases como; el dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), entre otros. La organización mundial de la salud considera la contaminación atmosférica como una de las más importantes prioridades en salud (OMS, 2002). En un reciente estudio se ha estimado que la contaminación ambiental debida a partículas como el CO, CO_2 , SO_2 , NO_2 , son responsables de 1,4% de todas las muertes del mundo (2013). El carbón, el petróleo y el gas natural derivado del petróleo son los combustibles fósiles más usados del mundo los tres con altos índices de contaminación, así como graves daños a recursos naturales consecuencia de su explotación, la explotación de estas energías primarias ha provocado el agotamiento de combustibles fósiles generando el principio de la oferta y la demanda de energía, esta demanda sugiere que a medida que los suministros de combustibles fósiles disminuyan los precios de la energía tiende a crecer impactando el desarrollo de la economía mundial. Las reiteradas alzas del precio internacional del petróleo también afectan el costo del Gas Propano o Gas Licuado del Petróleo (GLP), el cual como su nombre lo indica es un combustible derivado del crudo y su poder calorífico es de (2.75 kwh/kg). Por lo tanto, su valor al igual que el de otros como la gasolina, está ligado a los precios internacionales de éste (CREG, 2008).

Es por lo expuesto anteriormente que la gran apuesta está en reducir o mitigar el impacto ambiental generado por la producción de gases contaminantes, el (GLP) comúnmente es utilizado para procesos de cocción de alimentos, agregando a esto que cocinar alimentos se encuentra entre las necesidades fisiológicas de las personas en todo el mundo, esto ha generado la búsqueda de energías renovables usadas para la cocción, energías que aún son tema de discusión en los campos de estudio. (Panwar, Kaushink, & Kothari, 2012). Estas energías renovables también buscan disminuir el costo en consumo energético, enfocándonos en procesos de cocción de alimentos donde se usa (GLP).

Evaluar la eficiencia de uno o varios equipos para determinar el potencial de ahorro energético es clave para dar alternativas de solución a esta problemática, en este proyecto se aprovechó la energía térmica del sol concentrada en un colector solar de placa plana en el que se calentó agua y se evaluó el ahorro energético que existe, ya que esta agua fue precalentada para ser utilizada en procesos de cocción donde se usa (GLP) como fuente principal de calor, disminuyendo tiempos de cocción y cantidad de (GLP) consumido.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Evaluar el ahorro de energía en un proceso de cocción de maíz al implementar colectores solares para el precalentamiento de agua.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el consumo de energía primaria en un proceso de cocción de maíz que emplea gas licuado de petróleo como única fuente de calor.
- Caracterizar el proceso de calentamiento de agua empleando un colector solar de placa plana.
- Evaluar el gasto energético usando conjuntamente el precalentamiento de agua con colector solar de placa plana y el empleo de gas licuado de petróleo como fuente de calor en el proceso de cocción de maíz.

4. REFERENTES TEORICOS

4.1. Transferencia de energía

La energía se puede transferir hacia una masa dada, o desde ésta, por dos mecanismos Calor (Q) y trabajo W. Una interacción energética es transferencia de Calor si su fuerza impulsora es una diferencia de temperatura. De lo contrario, es trabajo. En la vida diaria con frecuencia se hace referencia a las formas latente y Sensible de la energía interna como calor y se habla del contenido de calor de los cuerpos. Sin embargo, en la termodinámica a esas formas de energía se les suele mencionar como energía térmica. La Cantidad de calor transferido durante el proceso se denota por (Q). La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se llama razón de transferencia de calor y se denota por (\dot{Q}) El punto arriba representa la derivada respecto al tiempo, o "por unidad de tiempo". La velocidad de transferencia de calor, (\dot{Q}) tiene la unidad J/s, lo cual es equivalente (W). (Cengel, págs. 9-10).

La razón de transferencia del calor por unidad de área perpendicular a la dirección de esa transferencia se llama flujo de calor y el flujo promedio de calor se expresa según la ecuación 1:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (w/m^2) \quad (1)$$

4.2. Energía térmica absorbida

Es la cantidad energía térmica que consume el proceso de cocción (Q_T) y se expresa según la ecuación 2 y para encontrar la potencia total absorbida (\dot{Q}_T) se usa la ecuación 2.1:

$$Q_T = Q_S + Q_L \quad (kJ) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_T = \frac{Q_S + Q_L}{t} \quad (kW) \quad (3.1)$$

Donde (Q_S) es el calor sensible requerido para aumentar la temperatura de la mezcla de maíz con agua desde la temperatura ambiente hasta el punto de ebullición y (Q_L) es el calor latente de vaporización por la masa de agua perdida durante la evaporación mientras se cocina. (Lakshmi, Chakkaravarthi, Subramanian, & Singh, 2005)

$$Q_S = m \times Cp \times \Delta T/2 + m \times Cp \times \Delta T/2 \quad (kJ) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_S = \frac{m \times Cp \times \Delta T/2}{t} + \frac{m \times Cp \times \Delta T/2}{t} \quad (kW) \quad (3.1)$$

Donde el Cp. Es el calor específico a presión constante del elemento que absorbe la energía, m es la masa del elemento que absorbe la energía en (kg), $\Delta T/2$ es el delta de temperaturas promedio del proceso de cocción y t es el tiempo que tarda el proceso.

$$Q_L = m_{ea} \times h_{fg} \text{ (kJ)} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_L = \frac{m_{ea} \times h_{fg}}{t} \text{ (kW)} \quad (4.1)$$

Donde (m_{ea}) es la masa del agua perdida por evaporación y (h_{fg}) es el calor latente de evaporización del agua.

4.3. Fundamentos de la radiación térmica

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$\dot{Q}_{emitida} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (5)$$

Donde $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2} \times K^4 \right)$ Y ϵ es la emisividad de la superficie cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$.

σ = constante de Stefan-Boltzmann

Otra importante propiedad relativa a la radiación de una superficie es su absorptividad (α), la cual es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por ésta. Como la emisividad, su valor está en el intervalo $0 \leq \alpha \leq 1$.

4.3.1. Ganancia de calor solar a través de vidrios:

El principio de la conservación de la energía necesita que la suma de las radiaciones solares transmitida, reflejada, y absorbida sea igual a la radiación solar incidente donde τ_s es transmisividad, ρ_s es reflectividad y α_s es la absorptividad del vidrio para la energía solar las cuales son las fracciones transmitidas, reflejada y absorbida de la radiación solar incidente, respectivamente.

La suma de la radiación solar transmitida y la fracción de la radiación absorbida que fluye hacia el interior constituyen la ganancia de calor solar del colector por tanto está es la energía solar usada. La fracción de la radiación solar incidente que entra a través del encristalado se llama coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) y se expresa según la ecuación 5:

$$SHGC = \tau_s + f_i \alpha_s \quad (6)$$

Donde (α_s) es la absorptividad solar del vidrio y f_i es la fracción de la radiación solar absorbida que fluye hacia adentro por ese vidrio. Por lo tanto, la cantidad adimensional SHGC es la suma de la fracción transmitida directamente (τ_s) y de la absorbida y vuelta a emitir ($f_i \alpha_s$) de la radiación solar que incide sobre la ventana, El valor de SHGC va desde 0 hasta 1.

La ganancia total de calor solar a través de ella se determina a partir de la ecuación 6:

$$G_U = SHGC \times A_{acristalado} \times G \quad (W) \quad (7)$$

Donde $A_{acristalado}$ es el área del enristalado de la ventana y G es la energía solar incidente que incide sobre la superficie exterior de esta última, en W/m²

Tabla 1 SHGC y transmisividad solar para algunos tipos comunes de vidrios

Tipo de acristalado	Espesor nominal		τ_s	SHGC
	(mm)	(in)		
a) Encristalado sencillo				
Transparente	3	1/8	0.86	0.87
	6	1/4	0.78	
	10	3/8	0.72	
	13	1/2	0.67	
Absorbente	3	1/8	0.64	
	6	1/4	0.46	
	10	3/8	0.33	
	13	1/2	0.24	

Adaptado de transferencia de calor y masa cap. 12, tabla 12-5 (Cengel, 2007)

Nota: en la presente investigación se usó una placa de vidrio transparente de 3mm de espesor para el colector solar de placa plana

4.3.2. Radiación atmosférica y solar

El flujo de radiación que incide sobre una superficie se llama irradiación y se denota por G . Cuando la radiación choca contra una superficie, parte de ella es absorbida, parte de ella es reflejada y la parte restante, si la hay, es transmitida.

La energía solar que incide sobre una superficie de la Tierra se considera que consta de dos partes directa y difusa. La parte de la radiación solar que llega a la superficie terrestre sin ser dispersada ni absorbida por la atmósfera se llama radiación solar directa G_D . Se supone que la radiación dispersada llega a la superficie terrestre de manera uniforme desde todas direcciones y se llama radiación solar difusa G_d se expresa según la ecuación 7:

$$G_{solar} = G_D \cos \theta + G_d \quad (w/m^2) \quad (8)$$

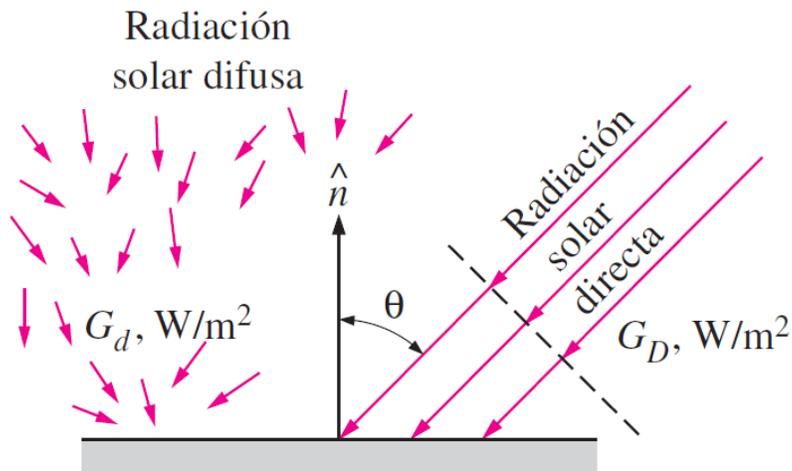


Figura 1 Radiación directa y difusa que inciden sobre una superficie horizontal en la superficie terrestre.

(Adaptada de transferencia de masa y calor (Cengel, 2007)

La emisión atmosférica se debe de manera principal a las moléculas de CO₂ y H₂O, y se concentra en las regiones de 5 a 8 mm y por encima de 13 mm. Aun cuando esta emisión está lejos de asemejarse a la distribución de la radiación de un cuerpo negro, se encuentra conveniente, en los cálculos referentes a la radiación, tratar a la atmósfera como un cuerpo de este tipo a alguna temperatura ficticia más baja que emite una cantidad equivalente de energía de radiación. Esta temperatura ficticia se llama temperatura efectiva del cielo, T_{cielo} . Entonces la emisión de radiación de la atmósfera hacia la superficie terrestre se expresa como:

$$G_{\text{cielo}} = \sigma T_{\text{cielo}}^4 \text{ (w/m}^2\text{)} \quad (9)$$

El valor de T_{cielo} depende de las condiciones atmosféricas. Varía desde alrededor de 230 K, para las condiciones de cielo frío y claro, hasta cerca de 285 K, para las condiciones de cielo cálido y con nubes.

4.4. Proceso de Cocción

Cocinar es parte esencial en la preparación de alimentos diariamente en los entornos industriales, comerciales y residenciales. La adicción de calor altera la composición de los productos alimenticios para mejorar el sabor, la textura, la digestibilidad y la vida útil. Además, es importante cocinar para reducir las enfermedades transmitidas por los alimentos que afectan aproximadamente a 9,4 millones de americanos anualmente. (Tiffany, Hager, & Morawicki, 2013).

4.5. Métodos de cocción

La cocción consiste en un tratamiento térmico que generalmente se clasifica como métodos de cocción secos hornear, asar, hervir, freír etc. Entre otros métodos de cocción están aquellos que usan microondas y radiofrecuencia, los cuales generan calor dentro del alimento por las ondas electromagnéticas. (Tiffany, Hager, & Morawicki, 2013).

Tabla 2 Métodos secos de cocción de alimentos y sus aplicaciones

METODOS	DESCRIPCION	MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	APLICACIONES
Parrillar	Parrilla eléctrica, de gas o carbón	Convección, conducción y radiación	Piezas de carne (aves, pescado, res, cerdo, papas, frutas y verduras
Saltear	Sartén, sartén industrial	Principal mente conducción	Carnes suaves, pescado, verduras, hongos
Asar o rostizar	En horno, rosticero	Convección, radiación y conducción	Carnes, nueces , papas
Hornear	En horno	Convección, radiación y conducción	Alimentos a base de harina y frutas
Freír	En freidora	Convección, radiación y conducción	Carnes, verduras, hongos, frutas, postres etc.

Tabla 2. Métodos secos de cocción de alimentos. Adatado de (Tiffany, Hager, & Morawicki, 2013)

Tabla 3 Métodos húmedos de cocción de alimentos y sus aplicaciones

METODOS HUMEDOS	DESCRIPCION	MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	APLICACIONES
Cocer/hervir	En agua o fondo	Conducción y convección	Leguminosas, verduras, carnes ,granos, pastas y frutas
cocer al vapor	Vaporera con presión industrial Olla express	Conducción y convección	Verduras, carnes, cereales, leguminosas
Estofar	Sartén hondo con tapa	Conducción y convección	Verduras, frutas, hongos
Bracear	Bracera o brasea a presión	Convección, radiación y conducción	Carnes

Tabla 3. Métodos húmedos de cocción de alimentos. Adatado de (Tiffany, Hager, & Morawicki, 2013)

4.6. Calentamiento de agua usando colectores solares

La energía solar es gratuita, abundante y amigable con el medio ambiente, por esto se acepta como una de las más prometedoras fuentes de energía alternativas. La eficacia de la energía solar se ve obstaculizada por la intermitencia de su disponibilidad, lo cual limita su uso en aplicaciones, domésticas, comerciales e industriales, especialmente para el calentamiento de agua. En los días más soleados y con mayor radiación es posible coleccionar más energía de la que se requiere para un sistema de calentamiento de agua, es por esto que dé vital importancia diseñar y desarrollar sistemas de almacenamiento de energía solar.

4.6.1. Sistemas termo solares de baja temperatura

Los sistemas termosolares de baja temperatura se clasifican según su funcionamiento:

- **Sistemas activos:**

Son aquellos que necesitan de energía externa para su funcionamiento, en la mayoría de los casos se trata de una bomba hidráulica que funciona con energía eléctrica con el objetivo de hacer recircular el agua por el sistema.



Figura 2 sistema de calentamiento de agua termo solar activo

Adaptada de (Sadhishkumar & Balusamy, 2014)

- **Sistemas pasivos :**

Estos sistemas no requieren de equipos ni sistemas externos para su funcionamiento, se basa en principios físicos naturales como es el caso de efecto termosifón, el cual funciona por el principio de la separación de fluidos debido a su densidad.



Figura 3 sistema solar para el calentamiento de agua pasivo

Adaptado de (Sadhishkumar & Balusamy, 2014)

4.7. Colectores solares

Los colectores solares son sistemas alternativos de energía sustentables diseñados para recolectar la energía radiada por el sol y transformarla en energía térmica, se destacan cuatro tipos de colectores:

- Colectores de placa plana con cubierta
- Colectores cilindro - parabólicos
- Colectores de placa plana sin cubierta
- Colectores de tubos de vacío

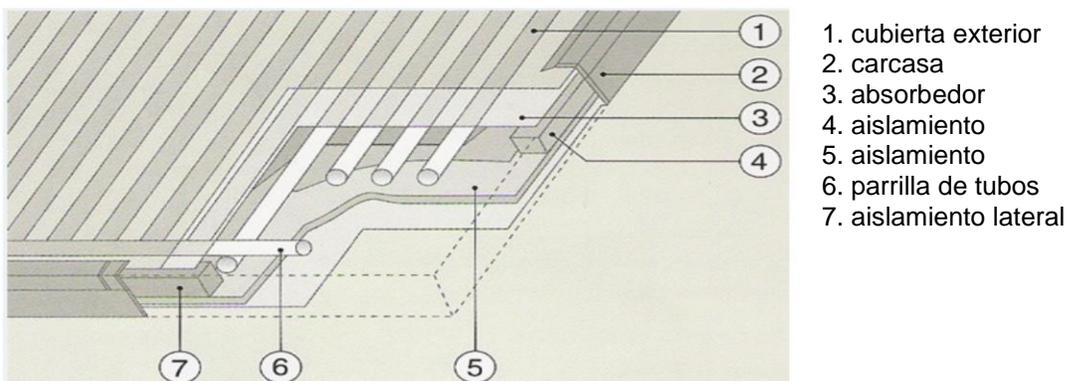
La clasificación de los colectores solares puede ser en función al fluido térmico que utiliza, además de agua puede ser otro líquido o gas. Otra categorización es por el nivel de temperatura que operan, relacionado con los componentes del colector solar, esto hace que se seleccione cuidadosamente el dispositivo adecuado para el trabajo que se necesita.

4.7.1. Colectores de placa plana

los colectores de placa plana son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales, un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica o de madera con alistamiento, una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbidora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está constituida por un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector.

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 °C. (Placco, Saravia, & Cadena)

- Componentes de un colector solar plano:



Figuran 4 Componentes de un colector solar plano

Adaptada de (Ceron, 2012, pág. 11)

- *Cubierta exterior:*

Su labor es generar el efecto invernadero al interior del colector, minimizar las pérdidas de calor por convección y garantizar la inaccesibilidad del agua y al aire dentro del colector, en unión con la carcasa. El efecto invernadero producido no permite que la radiación que ha ingresado hasta al interior del colector salga al exterior, reteniéndola en su interior.

Características que debe cumplir una cubierta exterior:

- Bajo coeficiente de transmisión para largas ondas
- Bajo coeficiente de conductividad térmica
- Alto coeficiente de transmisión de la radiación solar
- Alto coeficiente de reflexión para la longitud de onda larga de la radiación emitida por la placa captadora
- Coeficiente de dilatación pequeño

- *Absorbedor:*

El elemento fundamental del colector. Su función es absorber la radiación solar y transformarla en energía térmica, que se transmite al fluido circulante por tubos, existes varios modelos de absorbedores de parrilla y tubos y los de serpentín.

En ambos casos se debe asegurar:

- Buen equilibrio hidráulico para que el rendimiento del captador no disminuya.
- Circulación del fluido en régimen turbulento para aumentar la transferencia de calor.

Los materiales más comunes para su fabricación:

- Acero
- Acero inoxidable
- Aluminio
- Cobre

- *Absorbedor tipo serpentín*

En los absorbedores de tipo serpentín el fluido de trabajo circula por un tubo en forma de serpentín. Debido a su configuración presentan una mayor pérdida de presión que el de tipo parrilla.

Las ventajas del tipo serpentín:

- La sencillez en fabricación
- Posibles conexiones en paralelo de muchos colectores
- La facilidad de operación de colectores individuales bajo condiciones de flujo lento



Figura 5 absorbedor tipo serpiente

Adaptado de (Martinez & del Amo Sancho , 2016)

- Absorbedor tipo parrilla:

En los absorbedores tipo parrilla son varios tubos finos en paralelo, unidos a tubos de distribución en cada extremo del colector, se combinan para formar una disposición en forma de parrilla.

Las ventajas del tipo parrilla:

- La posibilidad de menores pérdidas de presión
- Posibilidad de uso en sistemas de termosifón
- Mejor rendimiento debido a un incremento de temperaturas entre la entrada y la salida del colector.

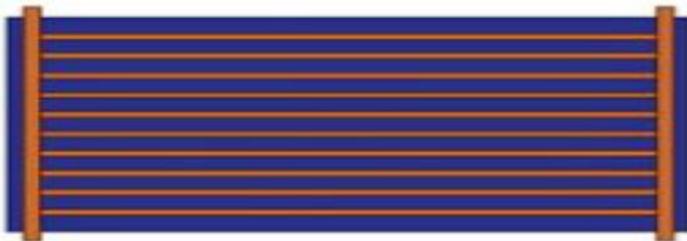


Figura 6. Absorbedor tipo parrilla

Adaptado de (Martinez & del Amo Sancho , 2016)

- *Aislamiento térmico:*

Es necesario el aislamiento térmico ya que reduce las pérdidas térmicas. El aislamiento recubre las paredes de la carcasa de colector.

Características de los aislantes térmicos:

- Resistir elevadas temperaturas sin desgastarse.
- No emana vapores al descomponerse por el calor y si es el caso no se adhiera a la cubierta.
- No se degrada por el envejecimiento.
- Mantener sus propiedades sin ser afectado por la humedad que puede producirse al interior del colector.

- Los materiales más usados son:
 - Lana de vidrio y mineral
 - Poliestireno expandido
 - Espuma rígida de poliuretano
- *Carcasa:*

Protege y brinda el soporte a los componentes del colector solar.

Tiene como características:

- Rigidez y resistencia estructural donde asegura la estabilidad.
- Resistencia a los elementos de fijación mecánica para los esfuerzos a transmitir.
- Resistencia a la corrosión y a los efectos corrosivos del ambiente
- Evitar toda geometría que permita la acumulación de agua en el exterior del colector
- Permitir el desmontaje de la cubierta de una manera sencilla, para poder atender cualquier tipo de contratiempo al interior del colector.

Áreas características de un colector de placa plana



Figura 7. Áreas características de un colector

Adaptada de (Ceron, 2012, pág. 14)

- *Área total, A_t :* es el área máxima proyectada por el colector completo. Se trata del área entre los límites exteriores del colector.
- *Área de apertura, A_a :* es el área proyectada máxima a través de la cual entra la radiación solar, es la de la superficie abierta del colector.
- *Área del absorbedor, A_A :* es el área máxima de proyección del absorbedor, en los colectores solares planos es la suma de las áreas del absorbedor y las tuberías internas expuestas a la radiación. (Ceron, 2012, pág. 14)

4.7.2. Colectores cilindro - parabólicos

Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo cilindro - parabólicos, usados para alcanzar temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de pérdidas. (Placco, Saravia, & Cadena)

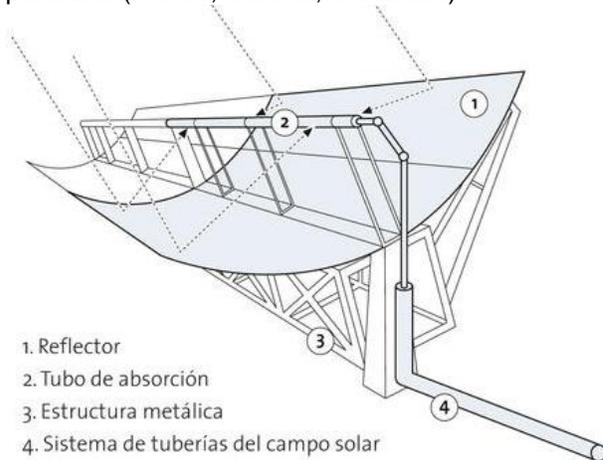


Figura 8. Colectores cilindro-parabólico

Adaptada de (Solar Millenium AG)

4.7.3. Colectores de placa plana sin cubierta

Son colectores sencillos y baratos normalmente son de material plástico, consisten en un absorbedor pero carecen de cubierta transparente. No incluyen aislamiento adicional, así que la ganancia de temperatura queda muy limitada a unos 20°C sobre el aire del ambiente, son adecuados para bajas temperaturas. Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección. (Placco, Saravia, & Cadena)



Figura 9. Colector de placa plana sin cubierta

Adaptado de (ENERWORK)

4.7.4. Colectores de tubo de vacío

Consisten en un grupo de tubos de vidrio y dentro de cada uno hay aletas de aluminio absorbedor, conectada a un tubo de cobre entre este y el absorbedor se realiza el vacío disminuyendo de forma muy considerable las pérdidas por convección. La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar e impide la pérdida de calor radiactivo.



Figura 10. Colector de tubo de vacío

Adaptado de (Rank)

4.7.5. Aspectos para elegir el colector adecuado

- el rango de temperaturas deseadas para el fluido que se calienta
- la cantidad de radiación del lugar
- la exposición a tormentas y a granizo
- la cantidad de espacio que se necesita
- costos específicos del colector

4.8. Tanque de almacenamiento:

El calor puede ser almacenado en el tanque por circulación directa entre el colector y el tanque o el agua calentada puede circular por un serpentín dentro del tanque, y así transferir calor al agua que se encuentra dentro del mismo. El mayor requerimiento del tanque es su total aislamiento, con el fin de conservar la temperatura requerida en el agua. Debe cumplir con las siguientes características:

- Evidenciar sellamiento y aislamiento.
- Debe cumplir con todas las precauciones de intemperismo.
- No debe ocurrir fugas de agua ni vapor de agua.
- Debe poder operar a presiones de red de distribución de acueducto.
- Disponer de elementos que alivien al tanque y sus circuitos asociados de sobrepresiones.

(Burbano, Juan Carlos, Hernan, Sabogal, & Oscar Julian , 2006)

4.9. Antecedentes

Los combustibles fósiles, fuente primaria de energía alrededor del mundo han dejado huella por su alta generación de gases contaminantes, el uso de estos combustibles inician su cruzada con gran fuerza en la revolución industrial donde la máquina de vapor inventada por el ingeniero mecánico James Watt impulsó al carbón como energía primaria en el mundo, después vino el petróleo el cual tuvo gran acogida cuando empezó la primera guerra mundial con la reciente invención de los automóviles a base de gasolina eso le dio un vuelco total al consumo de combustibles fósiles en el mundo, posicionando al petróleo hasta la actualidad como fuente de energía primaria más importante del mundo. Años después se generó el gas natural que hace parte de los combustibles fósiles, los tres con altos índices de contaminación por gases contaminantes y graves daños a recursos naturales, la explotación de estas energías primarias ha provocado el agotamiento de combustibles fósiles generando el principio de la oferta y la demanda de energía, sugiere que a medida que los suministros de combustibles fósiles disminuyen los precios de la energía tienden a crecer impactando el desarrollo de la economía mundial (Wang, Yang, Qiu, Zhang, & Zhao, 2015), Las reiteradas alzas del precio internacional del petróleo también afectan el costo del Gas Propano o Gas Licuado del Petróleo (GLP), el cual como su nombre lo indica es un combustible derivado del crudo y por lo tanto su valor, al igual que el de otros como la gasolina, está ligado a los precios internacionales de éste.[4]

Las “ciudades sostenibles” implican grandes desafíos de reconversión industrial y tecnológica junto a un uso creciente en energías renovables, El desarrollo de la energía solar ha sido particularmente significativo en los últimos años. Su principal incremento se ha dado en Europa, primordialmente en base al desarrollo de proyectos conectados a la red. Las mejoras tecnológicas han sido claves en este impulso y se prevé que a mediano plazo los proyectos serán comercialmente auto-sostenidos. [6] así pues la energía solar térmica es una de las energías renovables más rentables, dichas tecnologías tienen enorme potencial en el mercado a nivel mundial.

El calentamiento solar de agua es uno de los usos más populares, representando el 80% del mercado de la energía solar térmica en todo el mundo. (Wang, Yang, Qiu, Zhang, & Zhao, 2015). El calentamiento solar de agua para consumo doméstico, como alternativa para sustituir los calentadores tradicionales (eléctricos, a gas, etc.), es una opción atractiva, si se toma en cuenta las bajas temperaturas necesitadas (40°C a 60°C), además, desde el punto de vista de ahorro energético es la opción más favorable, ya que en estos sistemas, la fuente de calor es la radiación solar, la cual sustituye los combustibles fósiles o la electricidad. (Burbano, Juan Carlos, Hernan, Sabogal, & Oscar Julian, 2006)

El colector solar plano, utilizado desde principios de siglo para calentar el agua hasta temperaturas de 80 grados centígrados, es la aplicación más común de la energía térmica del sol. Países como Alemania, Austria, Japón, Israel, Chipre o Grecia han instalado varios millones de unidades. Las aplicaciones más extendidas son la generación de agua caliente para hogares, piscinas, hospitales, hoteles y procesos industriales, y la calefacción, empleos en los que se requiere calor a bajas temperaturas y que pueden llegar a representar más de una décima parte del consumo. (Santamarta, 2006)

En Colombia se estudió Los departamentos de mayor consumo de cilindros de GLP, son los más poblados como Antioquia, Nariño y Distrito Capital y aquellos ubicados al sur del país donde el gas natural todavía no ha sido ampliamente masificado (cobertura del 8%30), como son Nariño y Valle del Cauca. Este promedio de número de cilindros vendidos al mes en cada año, es utilizado para estimar de manera aproximada el número de usuarios de GLP en cilindros. De esta forma, asumiendo por ejemplo un consumo de $\frac{3}{4}$ de cilindro al mes por usuario, se tendría que durante el año 2011, el país tenía aproximadamente 3'145.000 usuarios de GLP en cilindros, y que en tan solo un año bajó a 2'752.000 usuarios. Es decir, que presuntamente este sector está perdiendo cerca de 393.000 usuarios de cilindros al año, que sumado a los usuarios de GLP en tanques estacionarios, arrojaría una cifra cercana al número de nuevos usuarios de Gas Natural (464.000 nuevos usuarios para el mismo periodo 2011-2012). Las ciudades de mayor consumo de cilindros de GLP son en su orden Bogotá, Medellín, Pasto, Cúcuta y Manizales. En estas cinco ciudades se concentra el 22% de las ventas totales de cilindros, participación que se redujó en tres puntos porcentuales entre 2011 y 2012, evidenciando el proceso de dispersión del mercado que vive el sector tras la pérdida de usuarios principalmente en los centros urbanos por la entrada del gas natural. (Colombia, 2013)

Tabla 4 Ventas en principales municipios consumidores, número de cilindros/mes

Municipio	2011	2012
	Cantidad(#Cil)/mes	Cantidad(#Cil)/mes
Bogotá	218.999	167.486
Medellín	163.952	113.393
Pasto	104.034	79.977
Cúcuta	56.130	46.505
Manizales	58.058	40.669
Subtotal municipios	601.174	448.030
Otros municipios	1.757.907	1.616.511
Total país	2.359.081	2.064541

Tabla 4 Ventas en principales municipios consumidores, número de cilindros/mes adaptada de (Colombia, 2013)

Se realizaron encuestas en la ciudad de cuenca Ecuador, con las encuestas realizadas se determinó que el 30,27% de 86.069 personas utilizan ducha eléctrica para el calentamiento de agua y el 69,73 utilizan GLP para el mismo fin. Se determinó que el consumo eléctrico por familia es de 2kWh/día y 1,53 cilindros/mes de GLP de 15 kg, la Empresa Electrica Centro Sur C.A. arrojó los datos de consumo de energía eléctrica para esta población y es de 19018,69 MWh/año. De igual manera se hizo con los clientes de la CENTRO SUR con consumo de GLP 1.101.894 cilindros/año.

Con la implementación del sistema termo-solar el 70% de los clientes con consumo eléctrico para el calentamiento de agua, tendría una reducción diaria de 34,80 MWh/día, teniendo en cuenta esto la reducción de energía eléctrica al año sería de 13.130,60 MWh/año, produciendo un ahorro al estado de 645.369,00 USD/año.

Análogamente para los clientes con consumo de GLP, se tendría una reducción anual de 771322 cilindros/año produciendo un ahorro al estado de 7.844.344 USD/año, además, la no emisión de 34.246,81 t CO₂/año. (Andrade & Ochoa , 2013, pág. 123)

El proceso de cocción es parte importante durante la preparación de alimentos en los entornos comerciales y residenciales. La aplicación de calor altera la composición de los productos alimenticios para mejorar el sabor, la textura, digestibilidad y la vida útil de éstos. Además los procesos de cocción permiten reducir las enfermedades transmitidas por los alimentos, las cuales afectan a 9.4 millones de Estadounidenses al año. El sector residencial requiere de 7 MJ/kg de producto alimenticio. En América los hogares usan alrededor de 6.9×10^8 GJ/año de energía en procesos de cocción. (Tiffany, Hager, & Morawicki, 2013)

Desde 1990, el promedio del consumo de energía a nivel de residencial en aparatos de cocina en los países desarrollados ha disminuido aproximadamente 31% debido a la mejora y nuevas tecnologías; sin embargo, aún es posible realizar mejoras adicionales según el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Medio Rural del Reino Unido (DEFRA), quien sugiere que deberían incluirse diseños ecológicos en la regulación con el objetivo de reducir el consumo de energía primaria en hornos y estufas en un 10% y 24%, respectivamente, para el año 2020. (Tiffany, Hager, & Morawicki, 2013)

El consumo energético en los procesos de cocción es una de las variables que influyen directamente en la economía, en la política social y energética de los países. Es importante analizar la eficiencia en los procesos de cocción del sector residencial, ya que el porcentaje de consumo de gas licuado de petróleo (GLP), llega al 45% en los consumidores en América latina, en Asia al 27% y el 15 % en Europa. (Riofrio, Cañon, Orozco, Vaca, & Martinez, 2014)

5. Metodología de la propuesta

Para determinar el ahorro de energía, al precalentar el agua empleando colectores solares se desarrollaron tres fases como sigue a continuación:

Fase 1: se determinó el consumo de energía en el proceso de cocción de maíz.

Para el desarrollo de esta fase se midió el consumo de gas necesario para calentar el agua desde una temperatura ambiente hasta el punto de cocción de maíz. En una olla de 40 litros se realizó la cocción de 3, 6 y 7 kilogramos de maíz, fueron pesados empleando una balanza de precisión con una capacidad de 10.000g, y una resolución de 0,2g, se empleó 12, 24 y 28 litros de agua respectivamente, empleando un cronómetro digital se midió el tiempo que tarda el agua en alcanzar el punto de ebullición, equivalente a la altura de la ciudad de Medellín Antioquia, el cual corresponde a 95°C.

El consumo energético del proceso de calentamiento de agua se calculó teniendo en cuenta la energía térmica consumida y potencia térmica absorbida por el proceso de cocción del maíz, de acuerdo con la ecuación 2 y 2.1:

$$Q_T = Q_s + Q_L \quad (kJ) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_T = \frac{Q_s + Q_L}{t} \quad (kW) \quad (5.1)$$

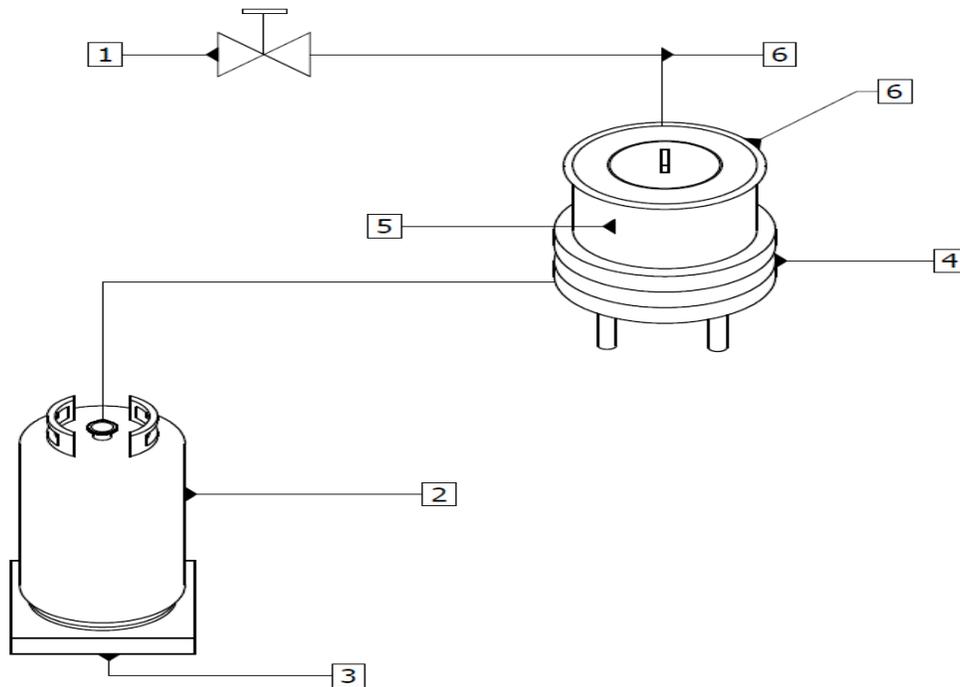


Figura 11 Esquema para la evaluación energética del proceso de cocción empleando únicamente GLP

En el esquema de la figura 12 se puede observar el montaje implementado para esta primera fase.

Tabla 5 lista de piezas utilizadas en el montaje de la fase 1

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	N° PIEZAS	DESCRIPCION
1	1	Válvula solenoide de agua	
2	1	Cilindro de GLP	30 kg
3	1	Bascula digital	10.000g con resolución de 0,2g
4	1	Quemador de GLP	
5	1	Olla de 40 litros	
6	2	Sensores de temperatura	de Termocupla tipo K

Tabla 5 pertenece al montaje de la fase 1 donde se puede ver las piezas utilizadas y enumeradas en el esquema de la figura 11

Fase 2: Caracterización del proceso de calentamiento de agua empleando un colector solar de placa plana, se tomaron pruebas durante 4 semanas usando el sistema propuesto para el calentamiento de agua con el colector solar, ver figura 12.

En esta fase se determinó las temperaturas máximas alcanzadas en el agua precalentada para días de alta radiación solar y baja radiación solar, las ganancias y pérdidas de temperaturas semanales y la energía solar usada. Estos parámetros caracterizan el funcionamiento del sistema compuesto por el colector solar de placa plana y el tanque de almacenamiento, los datos de temperatura fueron tomados por sensores de superficie en la parte interior y exterior del colector solar, también por sensores de temperatura sumergibles estos se ubicaron en la entrada del colector solar, en la salida y en el tanque del almacenamiento.

Para conocer de la radiación solar (G_D) se usó un pirómetro y se calculó la energía solar incidente (G) tomando como referencia los días de mayor y menor radiación solar, se expresa a partir de la ecuación 10 usando las ecuaciones 8 y 9:

$$G = G_{solar} + G_{cielo} \quad (w/m^2) \quad (10)$$

$$G_{solar} = G_D \cos \theta + G_d \quad (w/m^2) \quad (8)$$

$$G_{cielo} = \sigma T_{cielo}^4 \quad (w/m^2) \quad (9)$$

La energía solar usada (G_U) fue calculada tomando como referencia los días con mayor y menor radiación solar, se expresa según la ecuación 7:

$$G_U = SHGC \times A_{acristalado} \times G \quad (w) \quad (7)$$

Estos factores permitieron caracterizar de forma simple el sistema en conjunto que se utilizó para el precalentamiento de agua en el proceso de cocción. Se determinó desde las 8:00 y 16:00 hora local, con esto se obtuvo una curva característica del sistema que determino el ahorro energético en los intervalos analizados.

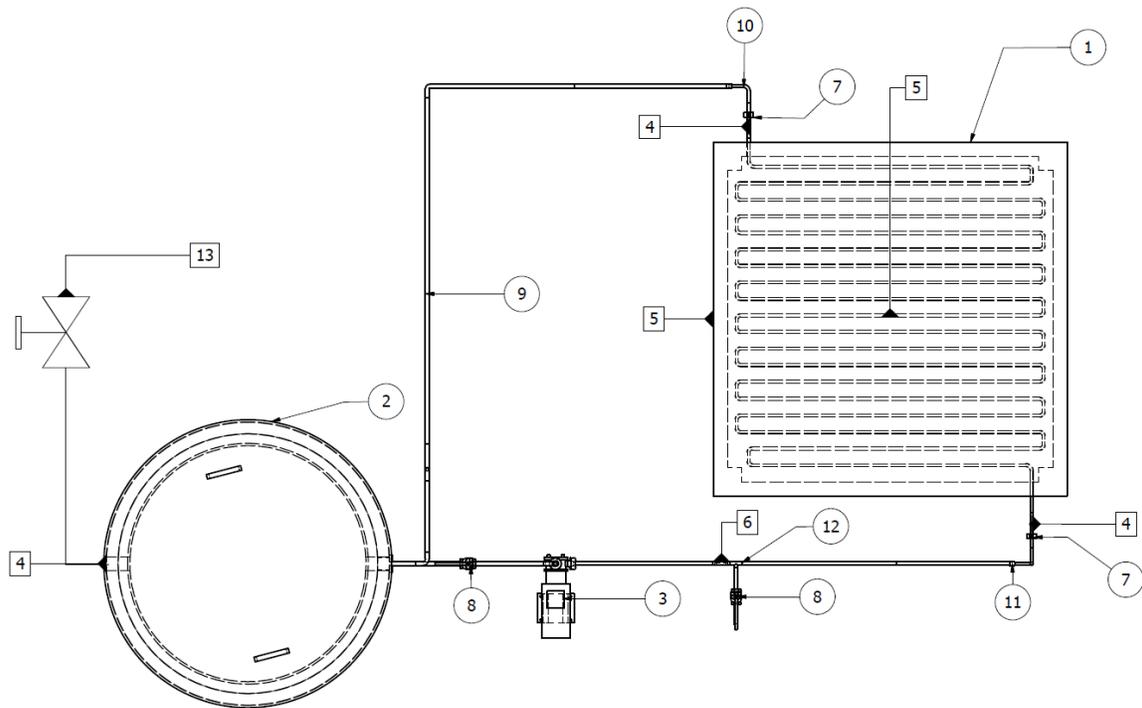


Figura 12 Esquema para la evaluación energética del proceso calentamiento de agua empleando colectores solares de placa plana.

Tabla 6 lista de piezas utilizadas para el montaje de la fase 2

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTOS	CTDAD	N° PIEZAS	DESCRIPCION
1	1	Colector solar de placa plana	1,5m x 1,5m
2	1	Tanque de almacenamiento	400 Litros
3	1	Bomba hidráulica	Periférica de ½ hp
4	3	Sensor de temperatura sumergible	
5	2	Sensor de temperatura superficial	
6	1	Sensor de flujo	
7	2	Manómetro	
8	2	Válvula de bola	
9	1	Tubería de acero galvanizado	7 metros de 1/2 pulg
10	8	Codos	½ pulg
11	2	Uniones	½ pulg
12	5	Unión tee	½ pulg
13	1	Válvula solenoide	Agua suministro de la red

Tabla 6 pertenece al montaje de la fase 2 donde se puede ver las piezas utilizadas y enumeradas en el esquema de la figura 13.

Fase 3: se determinó el gasto energético usando conjuntamente el precalentamiento de agua con colector solar de placa plana y el empleo de gas licuado de petróleo como fuente de calor en el proceso de cocción de maíz.

En esta fase se definió la incidencia del precalentamiento del agua en el colector solar de placa plana sobre el proceso de cocción de maíz, el cual utilizaba únicamente gas licuado de petróleo para realizar la cocción. De igual forma que en la fase 1, se definió los valores de energía total consumida en el proceso de cocción, el tiempo de cocción y el consumo de gas licuado de petróleo, con el fin de generar curvas comparativas y establecer de esta manera el ahorro energético, tiempo y costos de producción.

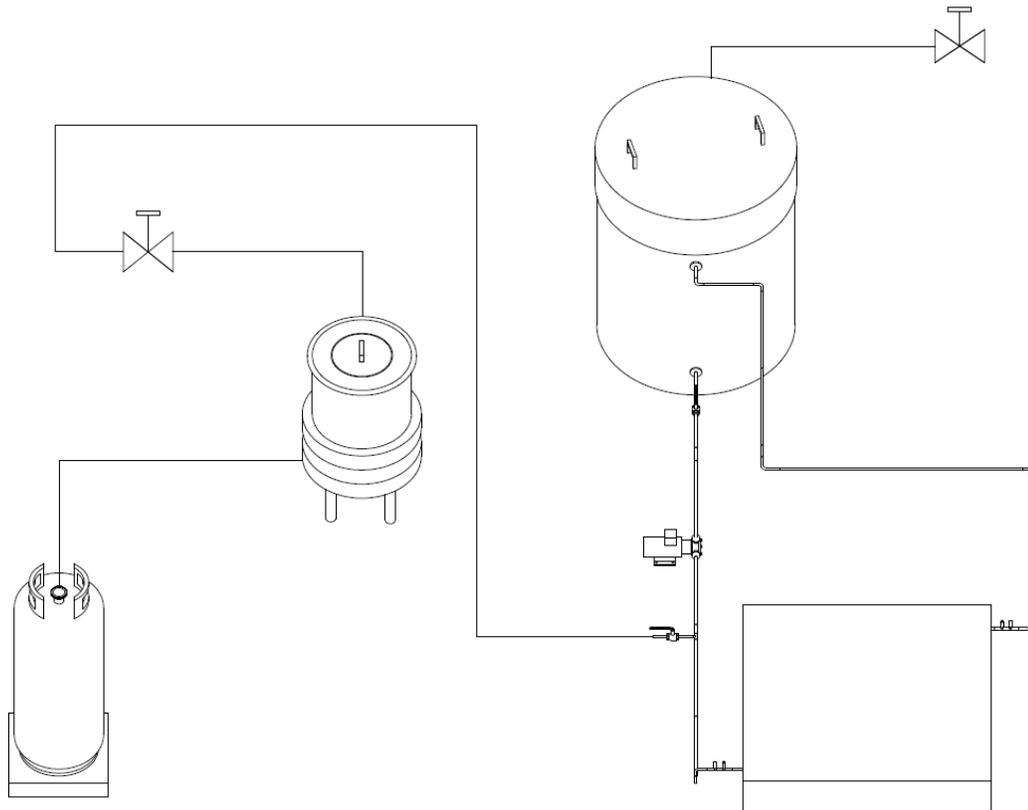


Figura 13 Esquema para la evaluación energética del proceso de cocción con precalentamiento de agua usando colectores solares de placa plana

En la figura numero 14 podemos observar esquema usado en la fase 3, donde se ingresó agua previamente calentada en el colector solar al proceso de cocción de maíz usando GLP para culminación del mismo.

6. Resultados del proyecto

6.1. Fase 1

Se determinó el consumo de energía primaria en un proceso de cocción de maíz que emplea gas licuado de petróleo como única fuente de calor. Dicho proceso se realizó variando la cantidad de masa del maíz en 3, 6 y 7 kg. Inicialmente, se calculó energía térmica y potencia térmica absorbida por el agua y el maíz para cada experimento de cocción, la suma de las energías térmicas y las potencias absorbida nos indica la cantidad de energía térmica y potencia térmica que se usó para completar el proceso de cocción.

Cálculo de la energía térmica y potencia térmica que se consume durante la fase sensible de los experimentos con agua a temperatura ambiente, se obtienen según las ecuaciones 3 y 3.1:

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T / 2 \quad (kJ) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_s = \frac{m \times C_p \times \Delta T / 2}{t} \quad (kW) \quad (3.1)$$

Tabla 7 datos de energía consumida y potencia absorbida por el maíz

m_{maiz} (kg)	Cp_{maiz} (kJ/kg * °C)	$\Delta T/2$ (°C)	t(seg)	$Q_{S(maiz)}$ (kJ)	$\dot{Q}_{S(maiz)}$ (kW)
3	3.30	37.1	2220	367.29	0.165
6	3.30	37.2	4320	736.56	0.170
7	3.30	37.4	5220	863.94	0.170

Tabla 7 refleja la energía térmica y potencias absorbidas por el maíz para cada experimento en agua a temperatura ambiente.

Tabla 8 datos de energía consumida y potencia absorbida por el agua

m_{agua} (kg)	Cp_{agua} (kJ/kg * °C)	$\Delta T/2$ (°C)	t(seg)	$Q_{S(agua)}$ (kJ)	$\dot{Q}_{S(agua)}$ (kW)
12	4.182	37.1	2220	1861.82	0.838
24	4.182	37.2	4320	3733.68	0.864
28	4.182	37.4	5220	4379.39	0.840

Tabla 8 refleja la energía térmica y potencias absorbidas por el agua a temperatura ambiente para cada experimento.

Calculo de la energía y la potencia térmica consumida durante el proceso latente de evaporación, obtenidos según las ecuaciones 4 y 4.1:

$$Q_L = m_{ea} \times h_{fg} \text{ (kJ)} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_L = \frac{m_{ea} \times h_{fg}}{t} \text{ (kW)} \quad (4.1)$$

Tabla 9 datos de calor latente de evaporización para cada experimento en agua a temperatura ambiente

m_{agua} (kg)	m_{ea} (kg)	h_{fg} ($\frac{kJ}{kg}$)	t(seg)	Q_L (kJ)	\dot{Q}_L (kW)
12	0.25	2269.3	2220	567.32	0.255
24	0.3	2269.3	4320	680.7	0.157
28	0.35	2269.3	5220	794.25	0.152

Tabla 9 refleja la energía térmica y potencias absorbidas por el agua en la fase latente para cada experimento, en agua a temperatura ambiente.

Calculo de la energía térmica y la potencia térmica consumidas en el proceso de cocción con agua a temperatura ambiente para cada experimento, obtenidos según las ecuaciones 2 y 2.1:

$$Q_T = Q_S + Q_L \text{ (kJ)} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_T = \frac{Q_S + Q_L}{t} \text{ (kW)} \quad (7.1)$$

Tabla 10 energía total consumida y potencia térmica total para cada experimento con agua a temperatura ambiente

Experimento	$m_{\text{maíz}}$ (kg)	m_{agua} (kg)	Q_T (kJ)	\dot{Q}_T (kW)
1	3	12	2796.43	1.258
2	6	24	5150.94	1.191
3	7	28	6014.25	1.162

Tabla 10 enseña la energía consumida en cada uno de los experimentos de cocción a diferentes cantidades de masa de maíz y de agua, así como la potencia absorbida en cada uno de estos experimentos.

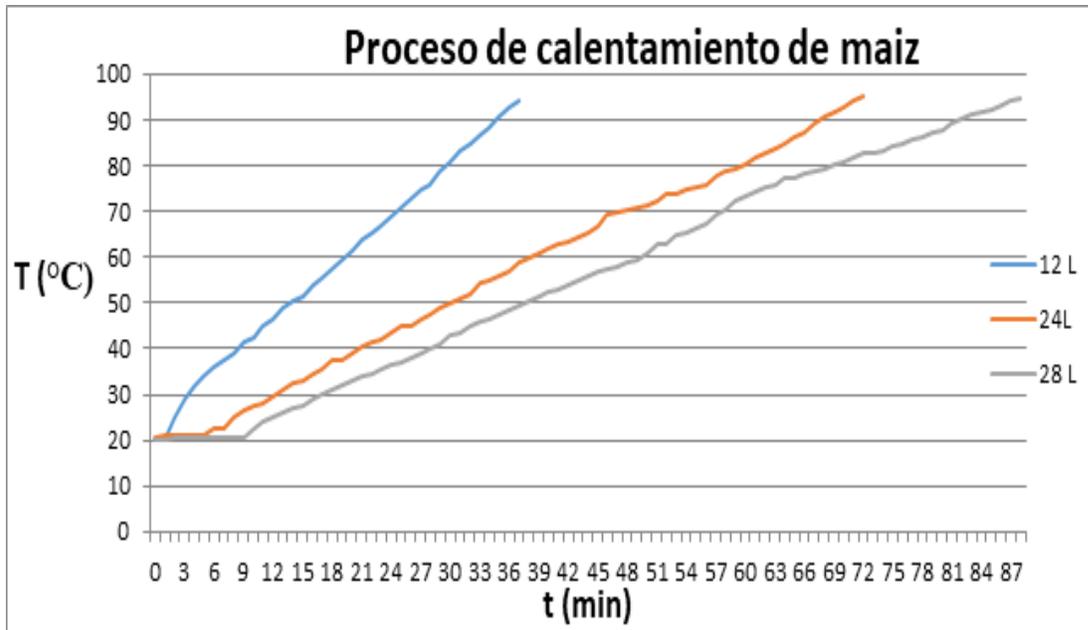


Figura 14 curva de calentamiento del proceso de cocción de maíz usando GLP como única fuente de calor

NOTA: Se pudo evidenciar el aumento del tiempo de cocción a medida que se aumentaba la proporción de agua y maíz dentro del proceso de cocción.

6.2. Fase 2

Se caracterizó el proceso de calentamiento de agua empleando un colector solar de placa plana tomando como referencia las 4 semanas de prueba. Haciendo énfasis el día con mayor radiación solar y el día con menor radiación solar. Las siguientes gráficas tomadas durante la fase de experimentación con el colector solar de placa plana se muestran datos de tiempo, radiación, ganancias y pérdidas de temperatura de los días anteriormente mencionados.

Caracterización de temperaturas semanales

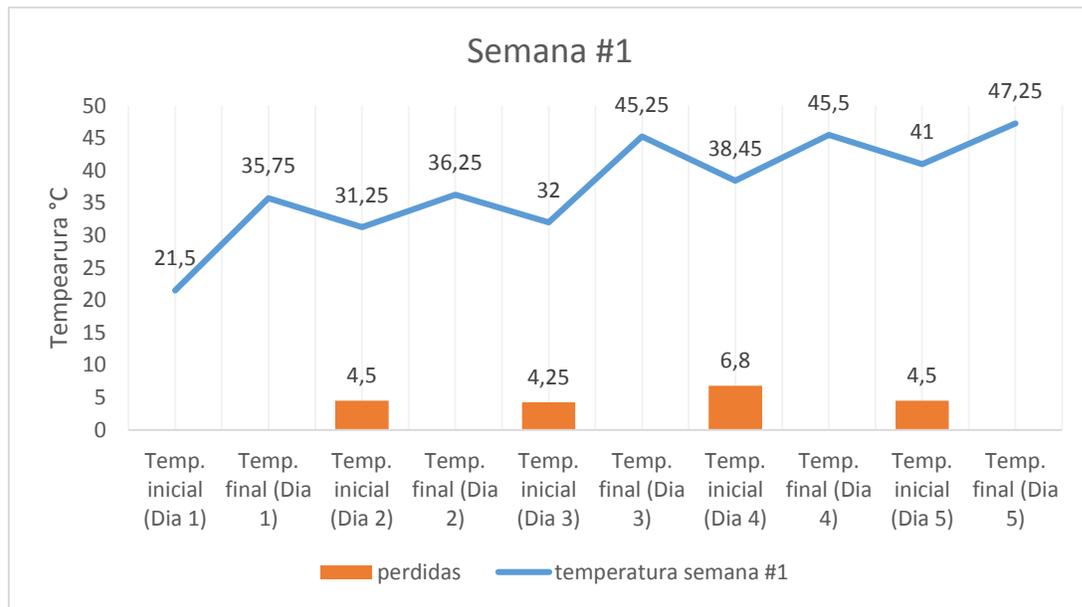


Figura 15 gráfico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 1

Tabla 11 temperaturas semana 1

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Temperatura inicial (°C)	21.5	31.25	32	38.45	41
Temperatura final (°C)	37.75	36.25	45.25	45.5	47.25
Pérdidas de temperatura (°C)	0	4.5	4.25	6.8	4.5

Tabla 11 evidencia las temperaturas iniciales y finales del agua dentro del tanque de almacenamiento en los días de la semana 1 en los que se realizaron las pruebas con el colector solar de placa plana, así mismo refleja las pérdidas de temperatura en el tanque de almacenamiento durante la etapa que no está activo el colector.

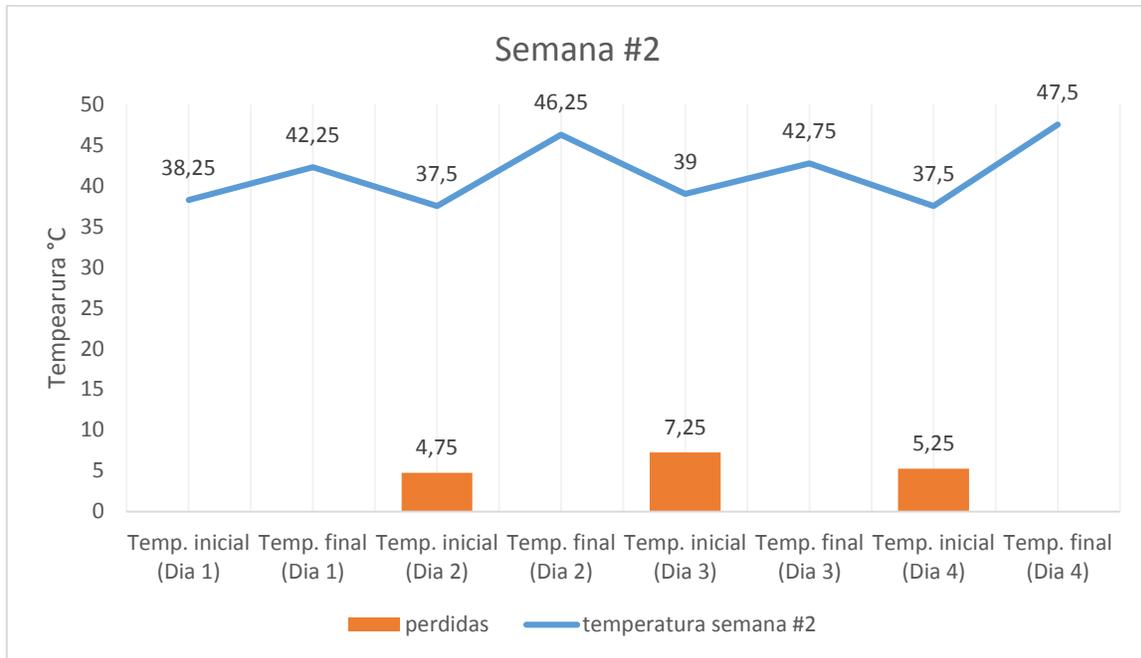


Figura 16 grafico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 2

Tabla 12 temperaturas semana 2

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Temperatura inicial (°C)	38.25	37.5	39	37.5
Temperatura final (°C)	42.25	46.25	42.75	47.5
Pérdidas de temperatura	0	4.75	7.25	5.25

Tabla 12 evidencia las temperaturas iniciales y finales del agua dentro del tanque de almacenamiento en los días de la semana 2 en los que se realizaron las pruebas con el colector solar de placa plana, así mismo refleja las pérdidas de temperatura en el tanque de almacenamiento durante la etapa que no está activo el colector.

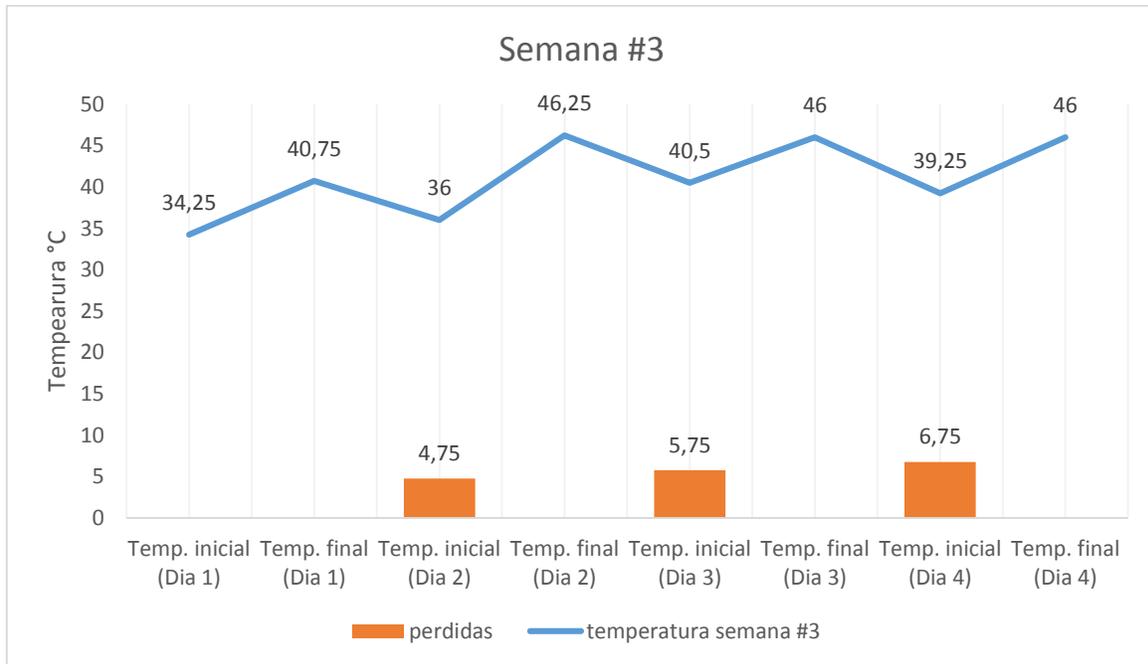


Figura 17 grafico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 3

Tabla 13 temperaturas semana 3

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Temperatura inicial (°C)	34.25	36	40.5	39.25
Temperatura final (°C)	40.75	46.25	46	46
Pérdidas de temperatura	0	4.75	5.75	6.75

Tabla 13 evidencia las temperaturas iniciales y finales del agua dentro del tanque de almacenamiento en los días de la semana 3 en los que se realizaron las pruebas con el colector solar de placa plana, así mismo refleja las pérdidas de temperatura en el tanque de almacenamiento durante la etapa que no está activo el colector.

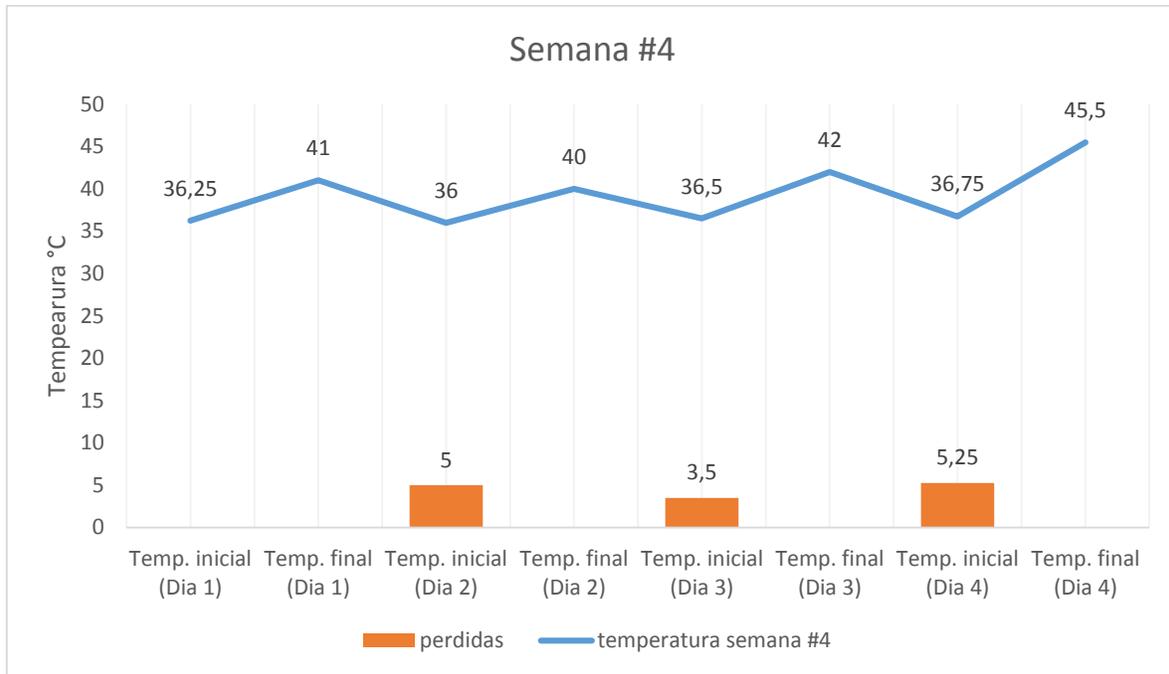


Figura 18 grafico de las ganancias y pérdidas de temperatura durante la semana 4

Tabla 14 temperaturas semana 4

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Temperatura inicial (°C)	36.25	36	36.5	36.75
Temperatura final (°C)	41	40	42	45.5
Pérdidas de temperatura	0	5	3.5	5.25

Tabla 14 evidencia las temperaturas iniciales y finales del agua dentro del tanque de almacenamiento en los días de la semana 4 en los que se realizaron las pruebas con el colector solar de placa plana, así mismo refleja las pérdidas de temperatura en el tanque de almacenamiento durante la etapa que no está activo el colector.

NOTA: Las gráficas anteriores muestran el proceso de calentamiento de agua durante las primeras 4 semanas utilizando el colector solar de placa plana, donde el primer día la temperatura inicial del agua fue de 21.5°C. Luego del primer día el agua conservó parte de la temperatura captada gracias al aislamiento del tanque de almacenamiento. Durante el proceso de caracterización se observó de forma constante una pérdida temperatura entre 4 y 7°C entre un día y otro, estas pérdidas aumentan y disminuyen de acuerdo a las bajas temperaturas o lluvias que se dan durante la noche.

Caracterización de temperaturas para el día con menor radiación solar

Detallando de forma más puntual el proceso de calentamiento de agua empleando el colector solar de placa plana, a continuación se muestra el cambio de la temperatura del agua desde las 8:00am hasta las 4:00pm durante los días de menor y mayor radiación.

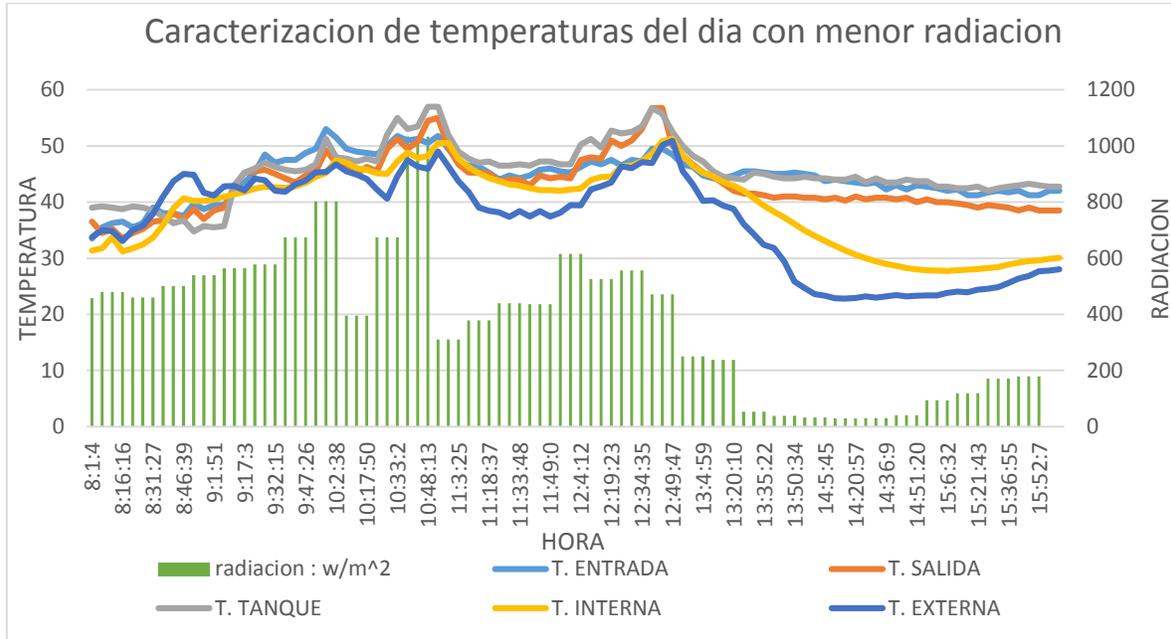


Figura 19. Caracterización de las temperaturas del día con menor radiación

Nota: en la figura 19 se observa las curvas de calentamiento del agua en el colector solar de placa plana para el día de menor radiación de la fase de pruebas, datos brindados por los sensores de temperatura y radiación puestos en el sistema.

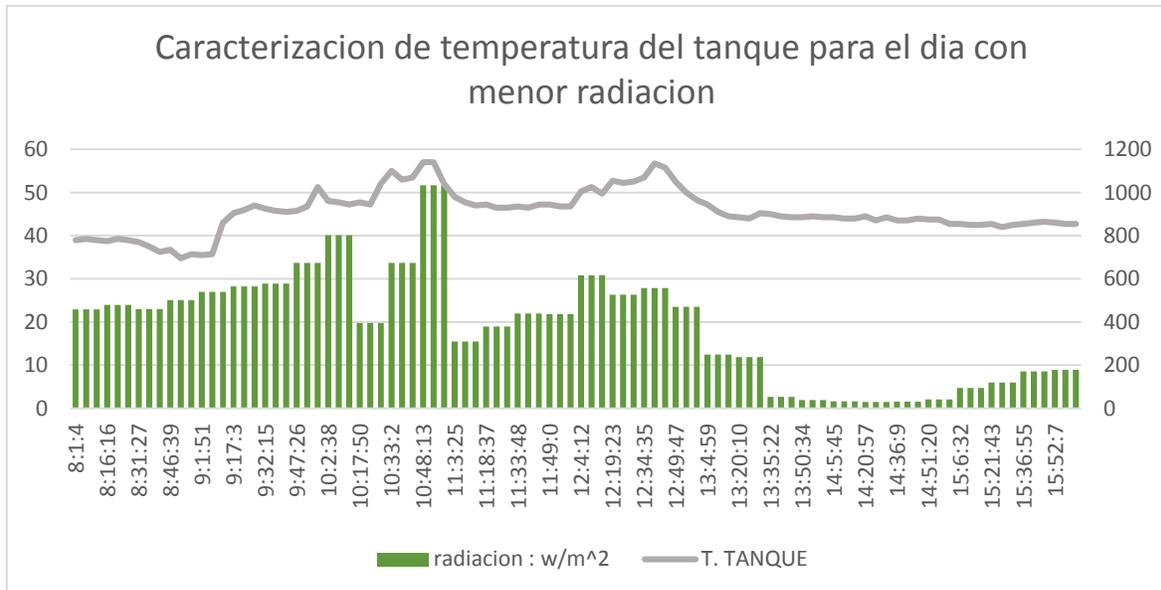


Figura 20. Caracterización de temperatura del tanque para el día con menor radiación

Nota: en la figura 20 se ve como la temperatura inicial dentro del tanque a las 8:00 am fue de 39°C gracias a la temperatura acumulada de días anteriores. A partir de ahí, la temperatura aumentaba de forma muy irregular a causa de la alta nubosidad que generaba bajos niveles de radiación incidente en el colector, a las 10:48 am la temperatura del tanque alcanzo su punto máximo en 57°C. Luego de alcanzar ese punto, la temperatura empezó a disminuir a causa de las precipitaciones que se dieron ese mismo día. Estos cambios se pueden evidenciar por la disminución acelerada y los mínimos niveles de radiación que se muestran en el gráfico.

Caracterización de temperatura para el día con mayor radiación solar

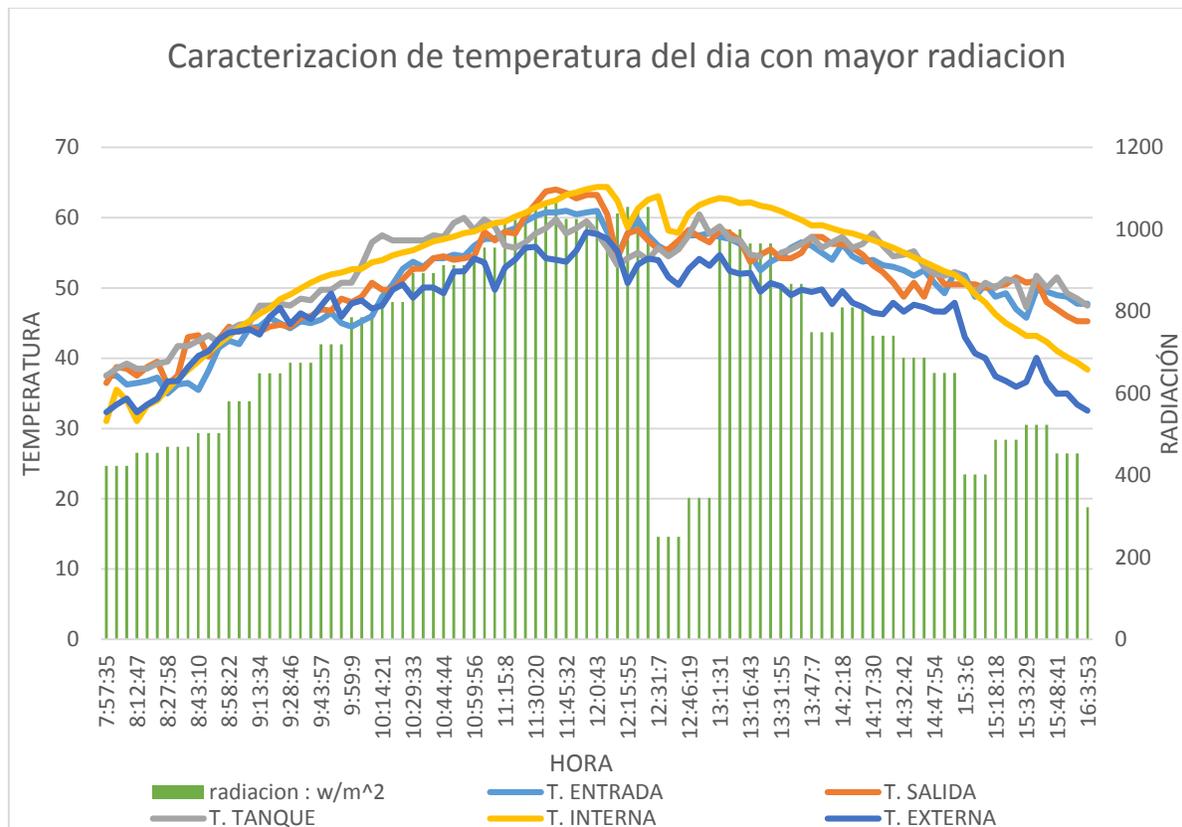


Figura 21. Caracterización del día con mayor radiación

Nota: en la figura 21 se observa las curvas de calentamiento del agua en el colector solar de placa plana para el día de mayor radiación de la fase de pruebas, datos brindados por los sensores de temperatura y radiación puestos en el sistema.

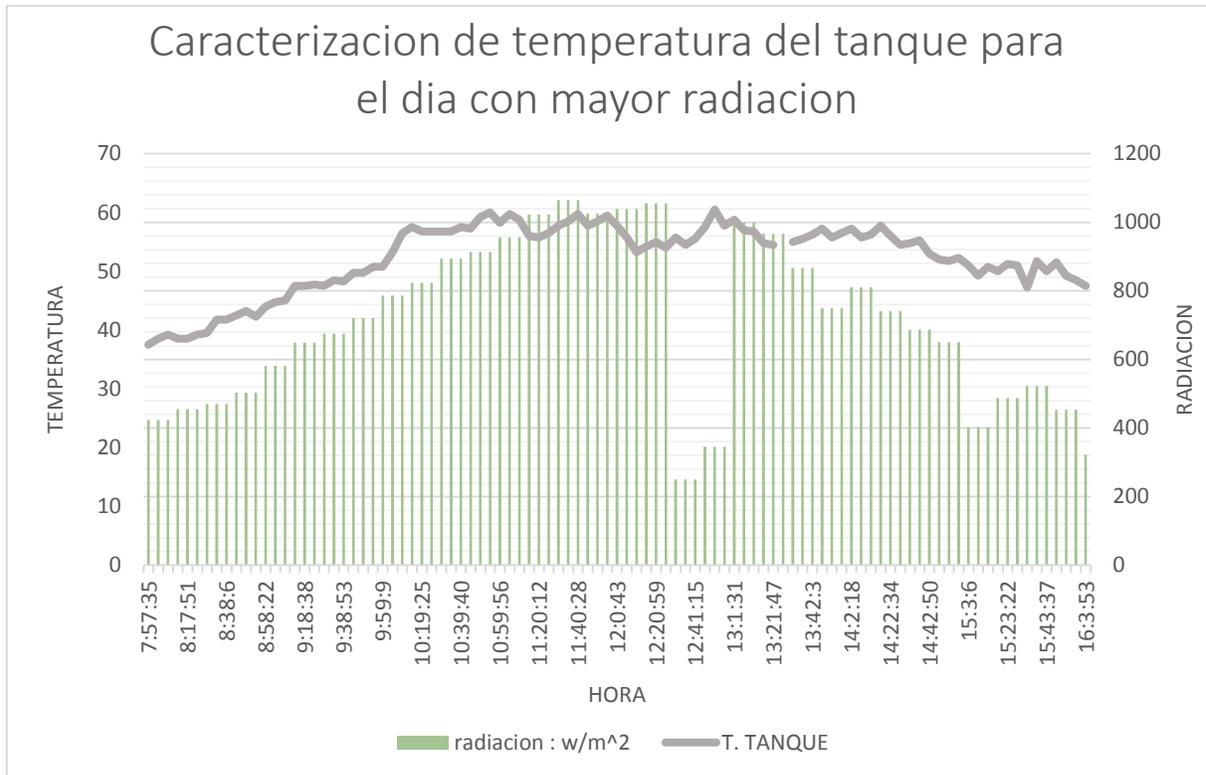


Figura 22. Caracterización de la temperatura del tanque para el día con mayor radiación

Nota: en la figura 22 se puede evidenciar como los datos reales obtenidos van un poco más acordes a las teorías y estudios planteados antes de realizar las pruebas. Mostrando el incremento constante de la temperatura desde 37,5°C hasta su punto máximo 60,5°C el cual se da aproximadamente al medio día, luego de eso se ve como la temperatura decrece de forma gradual hasta llegar a 47,5°C.

Calculo de la energía solar (G_{solar}):

$$G_{solar} = G_D \cos\theta + G_d \quad (w/m^2) \quad (8)$$

Día tipo	radiación directa (G_D)	radiación difusa (G_d)	$\cos\theta$	G_{solar} (w/m^2)
Mayor radiación	706.3	635.85	30°	1247.6
Menor radiación	372.09	0	30°	322.23

La radiación difusa varía desde alrededor de 10% de la radiación directa, en un día claro, hasta cerca de 100% en un día totalmente nublado. (Cengel, 2007)

Calculo de la energía cielo (G_{cielo}):

$$G_{cielo} = \sigma T_{cielo}^4 \quad (w/m^2) \quad (9)$$

Tabla 15. Datos para el cálculo de la energía cielo

Día tipo	T_{cielo}^4	constante de Stefan – Boltzmann = σ	$G_{cielo}(w/m^2)$
Mayor radiación	285	$5.67 \times 10^{-8} \left(\frac{w}{m^2} \times k^4 \right)$	374.02
Menor radiación	230	$5.67 \times 10^{-8} \left(\frac{w}{m^2} \times k^4 \right)$	158.66

Calculo de la energía solar incidente (G):

$$G = G_{solar} + G_{cielo} \quad (w/m^2) \quad (10)$$

Tabla 16. Datos para el cálculo de la energía solar incidente

Día tipo	G_{solar}	G_{cielo}	$G (w/m^2)$
Mayor radiación	1247.6	374.02	1621.62
Menor radiación	322.23	158.66	480.8

Calculó la energía solar usada (G_U):

$$G_U = SHGC \times A_{acristalado} \times G \quad (w) \quad (7)$$

Tabla 17. Datos para el cálculo de la energía solar usada

$G_{(mayor radiacion)}$	$SHGC$	$A_{acristalado} (m^2)$	$G_U (w)$	$G_U (kw)$
1621.62	0.87	2.25	3174.32	3.17
$G_{(menor radiacion)}$	$SHGC$	$A_{acristalado} (m^2)$	$G_U (w)$	$G_U (kw)$
480.8	0.87	2.25	941.16	0.94

6.3. Fase 3

Se determinó el gasto energético usando conjuntamente el precalentamiento de agua con colector solar de placa plana y el empleo de gas licuado de petróleo como fuente de calor en el proceso de cocción de maíz.

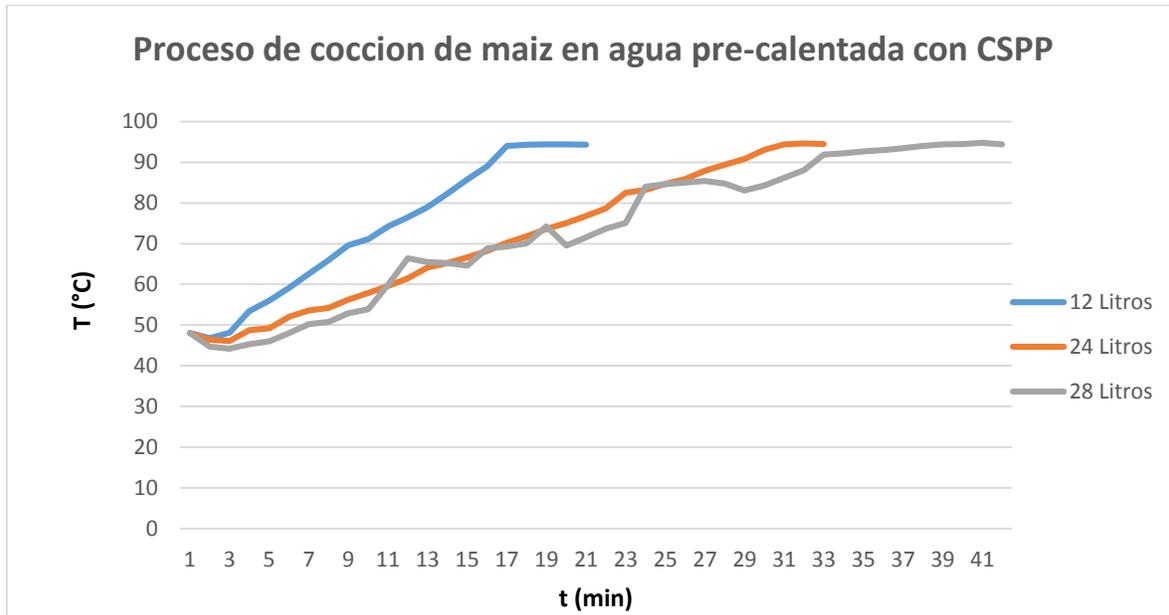


Figura 23. Curva de calentamiento del maíz durante el proceso de cocción con agua precalentada

Nota: se evidencia un aumento en la temperatura inicial del agua en el proceso, lo cual genera una disminución en los tiempos de cocción.

Cálculo de la energía térmica y potencia térmica sensible para los experimentos con agua precalentada, se obtienen según las ecuaciones 3 y 3.1:

$$Q_s = m \times C_p \times \Delta T / 2 \quad (kJ) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_s = \frac{m \times C_p \times \Delta T / 2}{t} \quad (kW) \quad (3.1)$$

Tabla 18. Datos de energía consumida y potencia absorbida por el maíz con agua precalentada en el sistema

m_{maiz} (kg)	$C_{p \text{ maiz}}$ ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)	$\Delta T / 2$ ($^\circ C$)	t(seg)	Energía (kJ)	$Q_{t(\text{maiz})}$ (kW)
3	3.30	23.15	1200	229.18	0.165
6	3.30	23.25	1920	460.35	0.170
7	3.30	23.2	2460	535.92	0.170

Tabla 18 refleja la energía y potencias absorbidas por el maíz para cada experimento con agua precalentada

Tabla 19. Datos de energía consumida y potencia absorbida por el agua precalentada

m_{agua} (kg)	$c_{p \text{ agua}}$ ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)	$\Delta T/2$ ($^\circ\text{C}$)	t (seg)	Energía (kJ)	$Q_{t(\text{agua})}$ (kW)
12	4.182	23.15	1200	1161.75	0.838
24	4.182	23.25	1920	2333.55	0.864
28	4.182	23.20	2460	2716.62	0.840

Tabla 19 refleja las potencias absorbidas por el agua para cada experimento

Calculo de la energía y la potencia térmica consumida durante el proceso latente de evaporación del experimento en agua precalentada obtenida según las ecuaciones 4 y 4.1:

$$Q_L = m_{ea} \times h_{fg} \text{ (kJ)} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_L = \frac{m_{ea} \times h_{fg}}{t} \text{ (kW)} \quad (4.1)$$

Tabla 20. Datos de calor latente de evaporización para cada experimento en agua a temperatura ambiente

m_{agua} (kg)	m_{ea} (kg)	h_{fg} ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)	t (seg)	Q_L (kJ)	\dot{Q}_L (kW)
12	0.2	2269.3	1200	453.86	0.378
24	0.3	2269.3	1920	680.7	0.354
28	0.3	2269.3	2460	680.7	0.276

Tabla 20 refleja las potencias absorbidas por el agua para cada experimento

Calculo de la energía térmica y la potencia térmica consumidas en el proceso de cocción con agua precalentada para cada experimento, obtenidos según las ecuaciones 2 y 2.1:

$$Q_T = Q_S + Q_L \text{ (kJ)} \quad (9)$$

$$\dot{Q}_T = \frac{Q_S + Q_L}{t} \text{ (kW)} \quad (10.1)$$

Tabla 21. Energía total consumida y potencia térmica total para cada experimento con agua precalentada

Experimento	m_{maiz} (kg)	m_{agua} (kg)	Q_T (kJ)	\dot{Q}_T (kW)
1	3	12	1844.79	1.53
2	6	24	3474.6	1.80
3	7	28	3933.24	1.59

Tabla 22. Porcentaje de energía ahorrada en el proceso de cocción usando GLP y agua precalentada en el colector solar de placa plana

Experimento	Energía (kJ) consumida por el proceso de Cocción usando únicamente GLP	Energía (kJ) consumida por el proceso de Cocción usando GLP y agua precalentada	Ahorro %
1	2796.43	1844.79	34%
2	5150.94	3474.6	32.6%
3	6014.25	3933.24	34.6%

Tabla 23. Consumo de GLP (kg) para agua a temperatura ambiente y agua precalentada

	12 Litros	24 Litros	28 Litros
AGUA	0.15	0.35	0.40
AGUA PRE-CALENTADA	0.1	0.2	0.35

Tabla 23 se evidencia los consumos de GLP en kilogramos para cada uno de los volúmenes de agua utilizados en el experimento, podemos observar una disminución en el consumo de GLP para las pruebas hechas con agua precalentada por el colector solar.

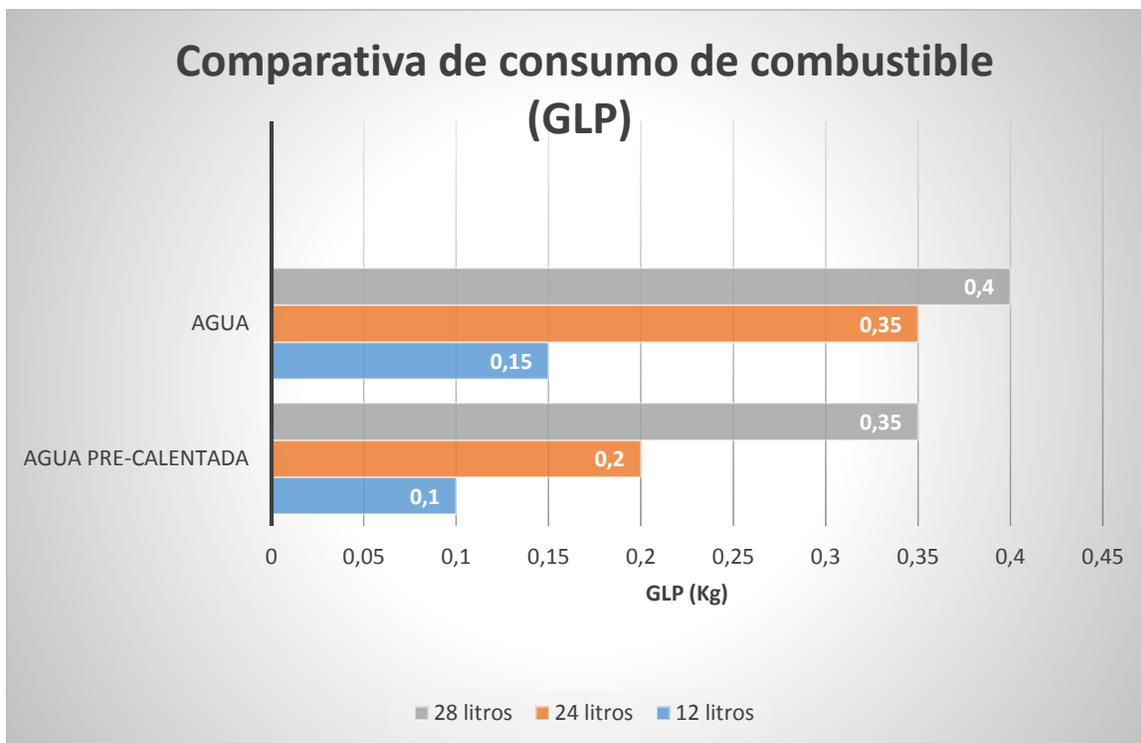


Figura 24. Grafico comparativo de gasto energético

Nota: podemos establecer una notable diferencia en el consumo de GLP ya que en cada uno de los procesos de cocción de maíz en el que se utilizó agua previamente calentada en el colector solar se evidencia un promedio de disminución del 22 % en GLP con respecto al consumo de GLP en los procesos de cocción con agua a temperatura ambiente.

Tabla 24. Ahorro en los tiempos de cocción del agua a temperatura ambiente respecto al agua precalentada

Experimento	Tiempo de cocción con agua a temperatura ambiente (min)	Tiempo de cocción con agua precalentada (min)	Ahorro %
1	37	20	46 %
2	72	32	56 %
3	87	41	53%

Tabla 24 se evidencia los tiempos de cocción del agua a temperatura ambiente y el agua precalentada para cada uno de los experimentos así como el porcentaje del tiempo ahorrado por la vinculación del agua precalentada en el CSPP en el proceso de cocción de maíz.

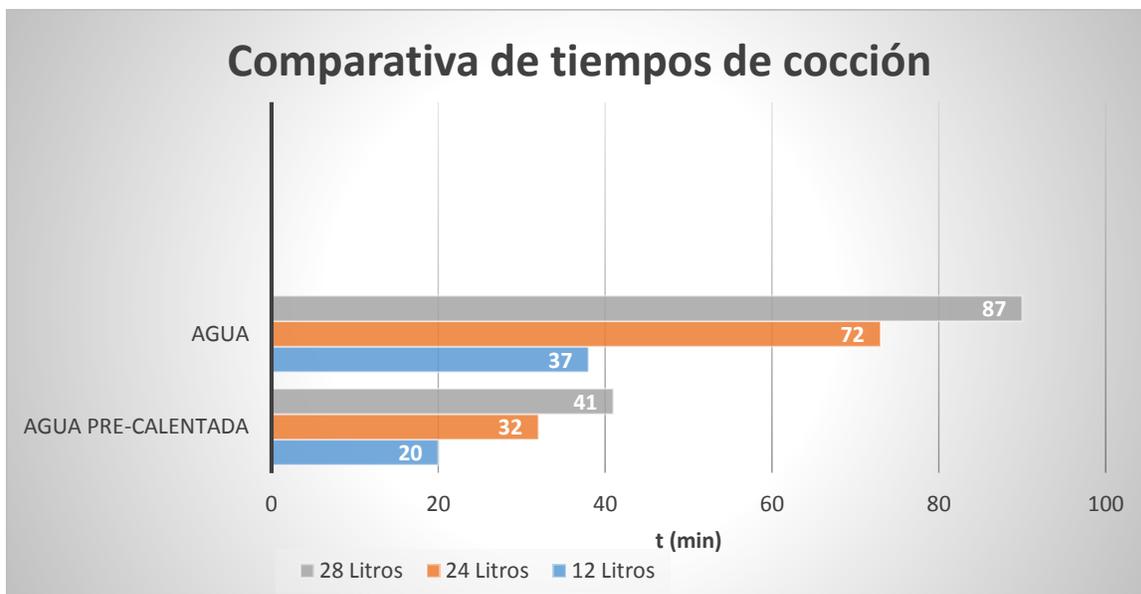


Figura 25. Grafico comparativo de tiempos de cocción

Costos de operación

En los costos de operación, el combustible (GLP) que se utiliza para realizar la cocción del maíz hace parte de los costos variables debido a que está en función de la cantidad de producción demandada y la tarifa variable del combustible a nivel nacional.

		Precio promedio de venta al público (\$/cilindro)												
Año		2017												
Departamento	Cilindro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
ANTIOQUIA	80 Libras	103,705	113,256	117,153	105,472	107,903	107,510	103,627	108,623	110,227	113,856	120,240	-	
ATLANTICO		124,803	-	-	120,243	135,450	134,050	134,050	141,050	141,050	141,050	141,050	156,975	-
BOGOTÁ D.C.		104,563	108,492	112,152	102,090	104,683	103,569	101,935	109,106	113,717	119,633	126,361	-	-
BOLIVAR		116,399	118,100	122,010	108,280	111,926	111,731	111,226	117,158	91,674	100,205	132,961	-	-
BOYACA		109,198	114,467	119,276	107,364	109,264	108,648	106,366	114,474	118,798	124,451	132,510	-	-
CALDAS		97,027	103,122	106,733	98,224	99,908	99,441	97,483	103,727	104,369	107,007	114,115	-	-
CAQUETA		109,895	119,912	133,069	123,545	112,610	111,294	110,567	115,161	115,473	122,515	128,069	-	-
CAUCA		102,600	124,468	113,218	102,630	105,333	104,865	104,861	110,136	113,293	118,968	126,401	-	-
CESAR		112,714	115,200	120,400	107,640	110,406	108,682	109,706	115,254	116,951	120,451	131,459	-	-
CORDOBA		112,000	-	-	134,187	136,752	135,352	135,352	142,352	142,352	142,352	158,277	-	-
CUNDINAMARCA		102,018	106,592	109,740	100,922	103,193	102,373	101,010	107,355	111,555	117,072	122,211	-	-
CHOCO		-	-	-	117,822	120,237	118,837	118,837	125,837	125,825	125,837	141,738	-	-
HUILA		113,230	124,971	117,455	108,753	111,091	110,743	110,486	115,572	119,435	125,188	133,828	-	-
LA GUAJIRA		112,791	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAGDALENA		110,750	-	-	111,586	115,346	113,946	113,946	120,946	120,946	120,946	136,871	-	-
META		115,241	123,430	118,934	108,891	110,820	110,313	109,394	113,465	117,917	123,369	128,949	-	-
NARIÑO		96,355	101,150	105,980	106,009	108,115	107,145	106,655	110,645	123,010	123,010	138,968	-	-
NORTE SANTANDER		104,887	104,525	110,727	99,310	101,420	101,046	100,950	106,089	107,458	110,763	118,981	-	-
QUINDIO		-	-	-	98,171	100,586	100,256	100,256	107,256	107,256	106,219	123,171	-	-
RISARALDA		96,355	103,058	107,223	97,108	99,278	98,578	98,088	102,078	103,037	104,493	113,411	-	-
SANTANDER		112,040	115,243	117,807	108,017	110,358	109,559	106,178	115,616	118,247	122,730	129,619	-	-
SUCRE		106,995	143,535	146,335	130,993	136,150	134,750	134,750	141,750	141,750	141,750	157,675	-	-
TOLIMA		111,211	115,693	118,699	108,953	111,576	111,143	110,233	115,621	119,035	123,218	128,250	-	-
VALLE		102,200	110,503	112,253	100,762	103,441	102,696	102,696	108,596	110,846	113,846	123,507	-	-
ARAUCA		98,438	99,505	114,643	104,137	105,564	105,423	107,522	108,132	119,178	123,201	126,012	-	-
CASANARE		103,013	106,651	110,064	102,678	104,156	103,659	106,386	110,047	114,346	119,543	128,291	-	-
PUTUMAYO		110,015	125,690	114,513	108,806	110,996	110,471	109,958	115,745	118,989	124,644	131,143	-	-
SAN ANDRES		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VAUPES		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GUAVIARE		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 26. Estadísticas de precios promedio del GLP para el año 2017 (CREG, 2008)

Calculo de ahorro en combustible (GLP)

Precio referencia del GLP, cilindro de 80 libras o 36,2 kg mes de noviembre del 2017 para el departamento de Antioquia es de 120,240 COP, Datos tomados de la figura 26.

Tabla 25. Datos del costo del GLP consumido durante el proceso de cocción de maíz con agua a temperatura ambiente

Litros de agua	GLP consumido en el proceso de coccion con agua a tempereatura ambiente (kg)	Precio por kilogramos consumido de combustible (COP)
12	0.15	\$ 498.23
24	0.30	\$ 996.46
28	0.40	\$ 1328.61

Tabla 26. Datos del costo del GLP consumido durante el proceso de cocción de maíz con agua precalentada

Litros de agua	GLP consumido en el proceso de cocción con agua precalentada (kg)	Precio por kilogramos consumidos de combustible (COP)	ahorro %
12	0.1	\$ 332.15	33.4 %
24	0.2	\$ 664.30	33.4 %
28	0.35	\$ 1162.54	12.85 %

Conclusiones

- El experimento nos demostró que el calentamiento del agua es la fase que más consume energía térmica durante el proceso de cocción de maíz, por tanto es justificado buscar alternativas energéticas que ayuden a reducir el consumo de energía térmica proveniente de combustibles fósiles para el calentamiento del agua.
- El sistema propuesto por colector solar placa plana y tanque de almacenamiento, evidenció una buena captación y acumulación de energía térmica solar usada para el calentamiento de agua.
- Las gráficas nos demuestran que el agua calentada en el colector solar de placa plana alcanza su máxima temperatura al medio día alcanzando cerca de 60°C, luego empieza a perder temperatura si las condiciones ambientales reducen la radiación solar.
- Es notable la disminución en los tiempos de cocción al utilizar en el proceso de cocción de maíz agua previamente calentada en el colector solar, se disminuyó el tiempo de cocción con un promedio del 51% respecto a los tiempos de cocción con agua a temperatura ambiente.
- La reducción en los tiempos de cocción deja en evidencia el ahorro energético en gas licuado de petróleo, al tardarse menos tiempo el proceso de cocción de maíz menos GLP será necesario para completar el proceso.
- Es viable el uso de colectores solares de placa plana para el calentamiento de agua vinculándolos a procesos de cocción donde se ahorrara energía térmica, tiempo, costos de operación y combustibles, además de esto genera un impacto ambiental positivo al disminuir la producción de gases contaminantes gracias al aprovechamiento de este elemento captador de energía térmica solar.

Recomendaciones

- Para la instalación del sistema captador de energía propuesto es recomendable buscar condiciones de terreno libres de sombra, para que así el colector solar reciba un mayor porcentaje de energía térmica.
- Es conveniente que los sensores electrónicos estén instalados de forma que los cambios climáticos no alteren sus resultados, ya que el sistema colector al estar sujeto a condiciones ambientales variables que afectan a los sensores, se pueden ver afectados por lluvias o exceso de temperatura e influiría en los resultados de las pruebas.
- Como las condiciones ambientales pueden reducir la radiación solar, es conveniente detener el flujo del agua por el sistema colector y dejar el agua confinada exclusivamente en el tanque de almacenamiento, de lo contrario habrá pérdidas de temperatura.

Referencias

- afanador, E., zapata, j., yepes, T., Cajiao, s., & castillo, j. (2013). *analisis de la situacion energetica de bogota y cundinamarca* . bogota.
- anderson, b. (s.f.). solar energy fundamentals in building design.
- Andrade, J. G., & Ochoa , P. G. (2013). *reduccion del consumo de energia electrica, mediante la aplicacion de sistemas termosolares para el calentamiento de agua sanitaria en viviendas domiciliarias en el canton cuenca*. Cuenca .
- burbano, j., j. c., hernan, a., sabogal, f., & o. j. (2006). diseño y construccion de un calentadro solar de agua operado por termosifon . *scientia Et technica*.
- Burbano, J., Juan Carlos, Hernan, A., Sabogal, F., & Oscar Julian . (2006). Diseño y construccion de un calentador solar de agua operado por termosifon . *Scientia Et Technica*.
- Cengel, Y. (2007). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*. RENO: McGraw-Hill.
- Ceron, J. M. (2012). analisis de mecanismos de transferencia de calor en colectores solares termicos y de la influencia de las condiciones de contorno. 11.
- Cohen , A., Anderson , H., Ostro, B., Pandey, K., & Kryzano. (2013). *Mortality impacts of urban air pollution*. Ginebra: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL.
- Colombia, M. d. (2013). *Cadena de gas licuado de petroleo*. bogota-colombia.
- CREG. (2008). *comision de regulacion de energia y gas*. bogota. Obtenido de <http://www.creg.gov.co/index.php/es/noticias/664-noticias-185>
- ENERWORK. (s.f.). Monterrey. Obtenido de <http://www.enerwork.com/>
- Lakshmi, S., Chakkaravarthi, A., Subramanian, R., & Singh, V. (2005). Energy consumption in microwave cooking of rice. *ELSERVIER*, 717.
- Martinez, A. G., & del Amo Sancho , A. (2016). *INSTALACIONES SOLARES TERMICAS DE BAJA TEMPERATURA*. Zaragoza: UNE.
- OMS. (2002). *informe de estado de la salud en el mundo*.
- Panwar, N., Kaushink, S., & Kothari, S. (026 de 03 de 2012). State of the art of solar cooking. *Energy Reviews*, 3776-3785.
- Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (s.f.). COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE. *INENCO*. Obtenido de http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf
- Rank. (s.f.). castillon- spain. Obtenido de info@rankweb.es
- Riofrio, A., Cañon, D., Orozco, M., & Martinez, J. (2014). ANALISIS DEL CONSUMO ENERGETICO EN PROCESOS DE COCCION EFICIENTE PARA EL SECTOR RESIDENCIAL.
- Riofrio, A., Cañon, D., Orozco, M., Vaca, D., & Martinez, J. (2014). ANALISIS DEL CONSUMO ENERGETICO EN PROCESOS DE COCCION EFICIENTE PARA EL SECTOR RESIDENCIAL. *Scientific Paper*.

Sadhishkumar, S., & Balusamy, T. (2014). performance improvement in solar water heating systems . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191-198.

Santamarta, J. (2006). *LAS ENERGIAS RENOVABLES SON EL FUTURO*. Obtenido de nacionmulticultural.unam.mx

Solar Millenium AG. (s.f.). España. Obtenido de <http://www.solarmillennium.de>

Tiffany, J., Hager, & Morawicki, R. (2013). Energy consumption during cooking in the residential sector of developed nations. *Food policy*, 54-63.