

Modelación de Sistema Termosolar para Pasteurización en Producción de Quesos de Comunidades Andinas, Provincia de Chimborazo

J.R. Muñoz¹ C.E. Mantilla¹ H. Bayas²

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Centro de Investigación Energías Alternativas, Ecuador
E-mail: dm17850@yahoo.com; carmenmantilla58@outlook.es

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias-Escuela de Ingeniería Ambiental, Ecuador
E-mail: hendrixtoqui@hotmail.com

Resumen

Este trabajo detalla el modelamiento del proceso de pasteurización utilizando energía solar térmica de baja temperatura, a través de colectores solares planos y validar la viabilidad técnica-económica del sistema requerido en la fabricación artesanal de quesos.

La modelación permite estimar la reducción de costos de producción, horas de trabajo y emisiones de CO₂ en relación al sistema actual implementado, que utiliza GLP para las pasteurizadoras de las comunidades andinas de la provincia de Chimborazo.

Se simuló la demanda de calor requerido en el proceso de pasteurización de 400 litros de leche con un sistema híbrido conformado por: colectores solares planos (85%), acumulador de calor de 120 litros, quemador de GLP (15%). La modelación predice que el sistema propuesto es efectivo con cuatro colectores solares planos con un área de 10 m², además predice la viabilidad técnico-económica, con una recuperación de tres años y en el aspecto ambiental es muy beneficioso reduciéndose el 85% de emisiones de CO₂, dejando de emitir 127500 kg a la atmosfera para un periodo de 25 años.

Concluimos que la eficiencia del sistema termosolar se puede maximizar con: seguidores solares, colectores de tubos de vacío o reduciendo el aporte calórico solar térmico (70%) y el sistema propuesto se puede implementar.

Palabras clave— termosolar, pasteurización, temperatura, radiación, calor.

Abstract

This research is related to the pasteurization modeling process using solar thermal energy of low temperature through solar flat collectors and to validate the technical and economical viability of the system required to produce craft cheese.

The approach let to estimate the reduction of production fees, work hours and CO₂ emissions taking in account the commercial system implemented over pasteurization industries in the Andes communities at Chimborazo province in Ecuador.

The demand of heat required in the pasteurization process to produce 400 milk liters was simulated by a water system composed by: solar flat collectors (85%), heat accumulator of 120 liters, GLP heater (15%). The approach predicts that the proposed system is optimum with fourth solar collectors are used 10 m² of area. The technical and economical viability is predicted too, at least three years and reducing 85% of CO₂ emissions as a environmental benefit, reducing 127500 kg of emissions in 25 years.

This proposal let to maximize the solar thermal efficiency considering solar followers, vacuum tubes collectors or by reducing the solar thermal heat (70%).

Index terms— termosolar, pasteurization, temperature, radiation, heat

Recibido: 14-12-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015.

Forma sugerida de citación: Muñoz, J.R.; Mantilla, C.E.; Bayas, H. (2016). "Modelación de Sistema Termosolar para pasteurización en producción de quesos de comunidades andinas, provincia de Chimborazo". Revista Técnica "energía". N°12, Pp. 379-387.

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

El sol se ha constituido en todas las épocas una fuente energética natural irremplazable para la humanidad porque gracias a su abundante y gratuito potencial energético, se puede tener aplicaciones variadas como: calentamiento de agua de uso doméstico, generación de vapor, secado de productos, ambientación, climatización, centrales termosolares, centrales fotovoltaicas, pasteurización de: agua[1], leche etc., que son aplicaciones que a diario se utilizan tanto en los sectores domésticos como industriales [2,3].

El uso de energías solar térmica de baja temperatura permitiría a las queseras artesanales lograr ahorro económico significativo y principalmente reducir el impacto ambiental que se produce por el uso de combustibles fósiles como gas natural (GLP), empleado en este proceso. La potencia media de radiación solar en la provincia de Chimborazo es del orden de 500-600 w/m², lo que hace que se puedan desarrollar múltiples aplicaciones con beneficios: económicos, ambientales con reducción significativa de consumo de combustibles fósiles y a su vez minimizando el impacto ambiental.

Considerando el potencial solar y las necesidades energéticas en las comunidades de la parroquia San Juan, de la provincia de Chimborazo se propone hacer una simulación para modelar un sistema termosolar para proporcionar el calor energético requerido para el proceso de pasteurización empleado en la producción de quesos de las microempresas agroindustriales y validar económica y técnicamente la viabilidad de la implementación de este sistema termosolar de baja temperatura, así como también analizar la minimización del impacto ambiental del proceso de pasteurización y con ello contribuyendo a la reducción de las emisiones de CO₂.

2. ESTIMACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA ACTUAL DE PASTEURIZACIÓN CON GLP

2.1. Proceso de pasteurización

La olla pasteurizadora, Figura. 1. (acero inoxidable de 550 lts) es previamente calentada para que la leche recolectada (350-400 lts) llegue a una temperatura de 65°C y el agua utilizada circula entre 2-3 minutos, por el interior de la olla de doble fondo hasta llenarse, obteniendo un

volumen de 70 lts de agua, que proviene de la red comunitaria a una temperatura promedio de 18°C, se suministra calor durante 2-2:30 horas, utilizando GLP cilindros de 15 Kg, con la finalidad que el agua al interior de la olla pasteurizadora llegue a una temperatura de 72 °C, y que la leche alcance los 65 °C en un periodo de 2-2:30 horas, y dejando de suministrar calor durante 30 minutos, haciendo circular un flujo de agua fría durante 45min a 1hora hasta que la temperatura descienda a 38-40 °C y el cambio térmico se haya completado [4].



Figura 1: Fotografía del proceso de pasteurización

2.2. Consumo energético actual con GLP y calor absorbido por el agua

El calor generado por el GLP se evalúa de la siguiente manera [5]:

$$Q_c = m * C_e \quad (1)$$

Donde se tiene que Q_c : calor generado por el calentador, C_e : poder calorífico del GLP 10986,62 Kcal/Kg= 46,054.8kJ/kg, m : flujo másico del gas (3,75Kg/h). El tiempo necesario en el proceso de pasteurización es de 2 horas y calor requerido el proceso de pasteurización utilizando (1) es 345,405 MJ.

En la Tabla 1 se ilustra el calor consumido diariamente, el calor que puede aportar cada cilindro y el calor consumido anualmente por la Santa Isabel.

Tabla 1: Cálculo del calor generado con GLP.

GLP consumido y calor generado	Consumo de GLP y calor generado de pasteurización			
	Datos	Día	Mensual	Anual
# Cilindro GLP (15Kg)	1,00	0,50	15,00	180,00
MJ	690,01	345,00	10350,22	124202,64

Para el proceso de pasteurización se evaluó el calor absorbido por el agua en el interior de la olla pasteurizadora, por medio de la siguiente expresión.

$$Q_a = C_e * m * (t_{pa} - t_r) * n * \rho_c \quad (2)$$

Donde Q_a : Energía Térmica necesaria [MJ/mes], m : Caudal [lts/día] (470lts/día), t_r : Temperatura media del agua fría de la red (18 °C), C_e : Calor específico del agua (4187 J/Kg. °C), t_{pa} : Temperatura del pasteurizador (72 °C), n : Número de días del mes que se considera, ρ_c : Densidad del agua [1 Kg/lts] [6].

Por lo tanto el flujo de calor transferido a un fluido en cada proceso diario será: $Q_a = 15.82 MJ$

En la Tabla 2 se ilustra el calor útil transferido al agua para el proceso de pasteurización diario, mensual y anual.

Tabla 2: Cálculo del flujo de calor

Calor Absorbido en el Proceso de Pasteurización (MJ)		
Día	Mensual	Anual
15.82	490.63	5887.59

2.3. Eficiencia de calor producida por GLP

El término eficiencia es muy usado en la termodinámica, ya que nos indica que tan bien se está realizando una transferencia o transformación de energía de un determinado proceso. El desempeño o eficiencia se expresa en términos de calor absorbido y el calor generado. Para calcular la eficiencia del GLP se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\text{Calor absorbido}}{\text{Calor Generado}} * 100 \quad (3)$$

El resultado fue del 4.58%.

2.4. Cálculo de las emisiones de CO2 a la atmósfera

La experimentación nos dice que en proceso termodinámico utilizando GLP se tiene que por cada Kg de GLP combustionado se emite 2,7 Kg CO2 a la atmósfera, por lo tanto en el proceso de

pasteurización de la leche que consume medio cilindro por día, es decir 7,5 kg de GLP producirá 20.25 Kg por proceso.

En la Tabla 3 se ilustra las emisiones diaria, mensual y anual de CO2.

Tabla 3: Emisiones de CO2 por el uso del GLP en el proceso de pasteurización

CO2 Emitidos a la Atmósfera (Kg)		
Día	Mensual	Anual
20,25	607,50	7290,00

3. PROPUESTA DE SISTEMA TERMOSOLAR APLICADO AL PROCESO DE PASTEURIZACION DE LA LECHE

El sistema termosolar a implementar consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor. Analizando la radiación media de la provincia de Chimborazo (500-600 W/m²) se procedió a modelar un sistema termosolar híbrido para aplicar al proceso de pasteurización de la leche que se emplea en la producción artesanal de quesos de las comunidades andinas. De todas las formas de captación térmica de la energía solar, las que han adquirido un desarrollo comercial han sido los sistemas para baja temperatura mediante colectores planos, colectores de tubos de vacío, sin seguimiento solar [7].

El principio elemental en el que se fundamenta cualquier instalación solar térmica es el de absorber la energía del Sol mediante un conjunto de captadores y transferirla a un sistema de almacenamiento, que abastece el consumo cuando sea necesario. Este mecanismo tan sencillo al mismo tiempo que eficaz, resulta muy útil en múltiples aplicaciones, tanto en el ámbito doméstico como en el industrial.

Los sistemas híbridos se dimensionan para que la acumulación energética satisfaga la demandada de uno o varios días. Para evitar posibles restricciones energéticas en aquellos periodos en los que no hay suficiente radiación y/o el consumo es superior a lo previsto, casi la totalidad de los sistemas de energía solar térmica cuentan con un aporte de energía auxiliar. El sistema auxiliar de apoyo utilizará los medios energéticos convencionales, como el gas, la electricidad, el diesel, etc.

3.1. Dimensionamiento del sistema energético propuesto

3.1.1 Variables de Dimensionamiento del Proyecto

Para poder dimensionar eficientemente el sistema termosolar se deben conocer los siguientes variables:

- Necesidad o demanda energética (necesidad de agua caliente en el proceso)
- Recurso energético disponible (cantidad de radiación solar incidente)

Identificados estos dos parámetros se puede confrontar los mismos y buscar una alternativa de equipo de transformación de energía solar para calentamiento de agua, sea de uso doméstico o industrial.

Para el proceso de pasteurización se requiere una cantidad determinada de agua caliente a una temperatura fija que hará que el proceso cumpla con los estándares de calidad exigidos en las normativas.

3.1.2 Calculo del Caudal

Se procedió a calcular el caudal utilizando el método volumétrico, que consta de un recipiente de volumen conocido (balde de 10 lts), y tomamos el tiempo que demora en llenarse, se mide por medio de un cronómetro (el tiempo que tarda en llenarse).

La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados. Finalmente aplicamos la siguiente fórmula para calcular el caudal $Q=V/t$ y los resultados se muestran en la Figura.2.

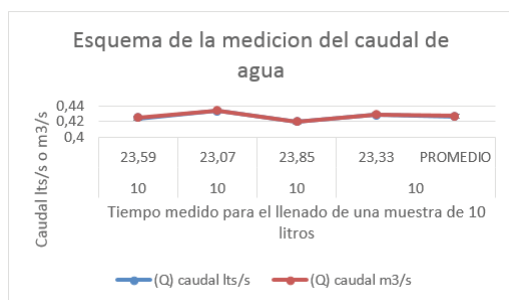


Figura 2: Gráfico de la cuantificación del caudal de agua utilizado en el proceso de pasteurización de la leche en la comunidad Santa Isabel, parroquia San Juan, cantón Riobamba

3.1.3 Cálculo del Consumo Energético

Calculamos el consumo energético mensual, es decir la carga mensual necesaria para el calentamiento del agua utilizada para el proceso de pasteurización y se calculó con la expresión (4). [8].

$$Q_a = C_e \cdot m \cdot (t_{ac} - t_r) \cdot n \cdot \rho \quad (4)$$

Considerando los estándares requeridos para este proceso se ilustran los resultados en la Tabla 4 [9].

Tabla 4. Calor absorbido por el agua en el proceso de pasteurización

%	Consumo Energético en el Proceso de Pasteurización (MJ)		
	Promedio diario	Promedio Mensual	Promedio anual
100%	29,04	871,11	10453,3
85%	24,68	740,44	8885,27

Se simuló el calor consumido con el propósito de cubrir un 85 % del total de la energía necesaria para el proceso [10].

Para este cálculo se utiliza la información de la estación meteorológica de la ESPOCH considerando parámetros como: radiación solar, temperatura media del ambiente y del agua de la red.

Existe variabilidades máximas y mínimas de radiación en un día, por lo que no es recomendable trabajar al 100 % porque se estaría sobredimensionando el sistema, causando problemas de sobreproducción de energía en días de máxima radiación, se recomienda trabajar con un porcentaje mínimo de energía auxiliar.

Temperatura Ambiente: Se obtuvo datos de la temperatura ambiente tanto diaria como mensual, ver Figura 3.

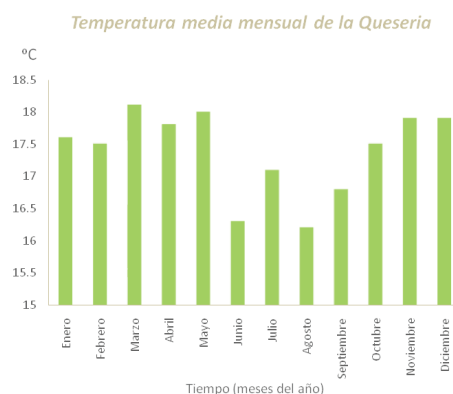


Figura 3: Fotografía del proceso de pasteurización

3.1.4 Recurso Energético Renovable Disponible

Es la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra, que se obtuvo de las mediciones realizadas en la estación meteorológica de la ESPOCH-Facultad de Ciencias.

a) Cálculo de Energía Incidente: Los colectores se deben ubicar de tal forma que el equipo solar aproveche día a día el máximo posible de la radiación incidente. Para obtener la mejor ganancia solar se debe orientar hacia el sur geográfico. El ángulo de inclinación óptimo debe ser la latitud más 10°. En la Tabla 5 se observa la radiación solar media diaria y esto nos permite calcular H (energía media incidente sobre superficie horizontal /m²).

Tabla 5: Energía media incidente sobre superficie horizontal por metro cuadrado

Mes	Intensidad Media (W/m ²)	Radiación H (MJ/d*m ²)	E=0,94*H*K
Enero	539,17	11,65	11,0
Febrero	538,61	11,63	10,9
Marzo	600,50	12,97	12,2
Abril	567,32	12,25	11,5
Mayo	565,03	12,20	11,5
Junio	524,82	11,34	10,6
Julio	643,51	13,90	13,1
Agosto	590,13	12,75	12,0
Septiembre	601,04	12,90	12,2
Octubre	579,21	12,51	11,8
Noviembre	559,18	12,08	11,4
Diciembre	553,56	11,97	11,3

Se calculó Energía incidente para cada día medio mensual con la expresión:

$$E = 0,94 * k * H \tag{5}$$

Donde E es la Energía incidente (MJ/d*m²), 0,94 es un factor de corrección por pérdidas de calor. Factor k=1: para 12° de inclinación que se consideró teniendo en cuenta la latitud del lugar, H: Radiación [MJ/d*m²].

Se calculó la intensidad en W/m² utilizando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{E}{t} \tag{6}$$

I: Intensidad (W/m²), t: Horas útiles (s)

b) Cálculo del Rendimiento: Se calculó el rendimiento medio mensual del colector, considerando los parámetros proporcionados por el fabricante [11].

$$\eta = F_R * (\tau * \alpha)_N - F_R * U_L \left[\frac{t_m - t_a}{I} \right] \tag{7}$$

Donde, t_m: Temperatura máxima (75°C), η: Rendimiento medio mensual del colector, t_a: Temperatura ambiente en °C, I: Intensidad [W/m²]

Los parámetros termodinámicos del fabricante fueron:

$$F_R * (\tau * \alpha)_N = 0,824 \tag{8}$$

$$F_R * U_L = 5,15 \tag{9}$$

Aplicando la ecuación (7) se calculó el rendimiento del colector para os diversos meses del año y se ilustran los resultados en la Tabla 6.

Tabla 6: Cálculo mensual del rendimiento de los colectores solares PSRS T_a = 75 °C

Mes	Ta (°C)	Rendimiento (η)	Mes	Ta (°C)	Rendimiento (η)
Enero	17,6	0,24	Julio	17,1	0,33
Febrero	17,5	0,24	Agosto	16,2	0,28
Marzo	18,1	0,30	Septiembre	16,8	0,29
Abril	17,8	0,27	Octubre	17,5	0,28
Mayo	18	0,27	Noviembre	17,9	0,26
Junio	16,3	0,21	Diciembre	17,9	0,26

c) Cálculo de la Aportación y corrección de la aportación media diaria y mensual: Se calculó la aportación medio mensual por m² del colector ver Tabla 7.

$$\eta * E \text{ [MJ / m}^2 * d] \tag{10}$$

η: Rendimiento medio mensual del colector.

Tabla 7: Cálculo mensual de la energía aportada por los colectores

Mes	$\eta * E$ (MJ/ $m^2 * d$)	$0,85 * \eta * E$	$0,85 * \eta * E * N$
Enero	2,64	2,24	69,5
Febrero	2,61	2,22	62,2
Marzo	3,72	3,16	97,9
Abril	3,13	2,66	79,7
Mayo	3,11	2,64	81,9
Junio	2,24	1,90	57,1
Julio	4,33	3,68	114,0
Agosto	3,33	2,83	87,9
Septiembre	3,58	3,04	91,3
Octubre	3,29	2,80	86,8
Noviembre	3,00	2,55	76,6
Diciembre	2,92	2,48	76,9

η : Rendimiento medio mensual del colector, E: Energía incidente [MJ/ $m^2 * d$], 0,85: factor de corrección para pérdidas de calor .

d) Cálculo del Área Necesaria para los Colectores: El área necesaria de colectores se calculó por medio de:

$$m^2 \text{ Necesarios} = \frac{\text{Necesidad Anual de Consumo}}{\text{Energía Anual Neta Disponible}} \quad (11)$$

Las necesidades anuales de consumo se obtienen sumando la demanda mensual de los doce meses y el consumo anual a cubrir es 8885,27(MJ)

La Energía anual neta disponible es la suma de la producción de energía térmica mensual por metro cuadrado de los colectores para los doce meses, obteniéndose una aportación anual de 981,8 MJ/ m^2 y el cálculo de Paneles Solares Necesarios y m^2 de paneles a instalar se procedió de la siguiente manera:

$$\text{Paneles solares necesarios} = \frac{m^2 \text{ Necesarios}}{m^2 \text{ colector}} \cong 4,00 \text{ Paneles} \quad (12)$$

Donde el área total de paneles a instalar será:

$$m^2 \text{ a instalar} = \text{Paneles Elegidos} * m^2 \text{ colector} = 10,04 m^2 \quad (13)$$

El sistema de captación se consideró con colectores solares planos de alto rendimiento Vitosol 200-F. Se instalará una superficie total de 10,04 m^2 , con un montaje vertical e interconectado en paralelo con tubería exterior y retorno invertido.

Para la simulación del sistema de acumulación se consideró un inter-acumulador solar de tipo vertical, con carcasa en acero con recubrimiento exterior anticorrosión con esmaltado Ceraprotect de dos capas de fabricación propia, y recubrimiento interior, Vitocell 100-W modelo CUG. con un volumen de 120 lts.

3.2. Estimación del Sistema auxiliar

Para asegurar al proceso de pasteurización el suministro de agua caliente, el sistema termosolar debe disponer de un sistema de energía auxiliar. En el sistema propuesto se cubrirá el 85% con energía solar térmica y el otro 15% GLP para los días de mínima radiación.

Se puede optimizar la eficiencia de los colectores reduciendo el porcentaje de la demanda a cubrir y llegar hasta el 70% de cobertura. El consumo de (GLP) se calculó por medio de:

$$X = \frac{(15 \text{ Cilindros GLP} * 15\%)}{100\%} = 2,25 \text{ Cilindros GLP / mes} \quad (14)$$

Un kilogramo de Kg GLP emite 2,7Kg de CO₂ y consumiendo 1.13 Kg de GLP por proceso, entonces se emitirá 3.04 Kg de CO₂ diarios, 91.20 Kg al mes y 1094.40 Kg al año.

3.3. Diseño del Circuito Hidráulico

3.3.1 Circuito Primario

En la Figura 4 se esquematiza el circuito primario del sistema térmico propuesto.

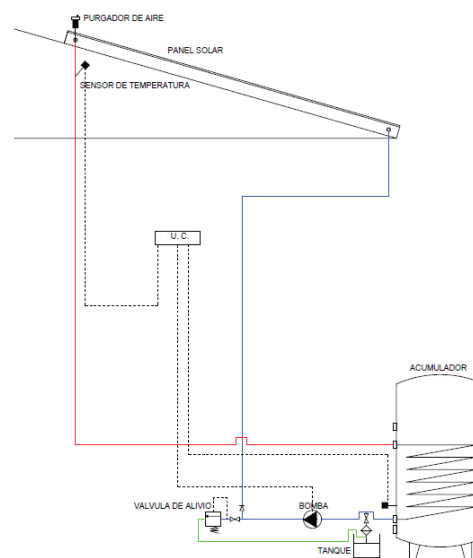


Figura 4: Circuito primario de la quesera

Las instalaciones hidráulicas (tuberías y accesorios, tanques) cumplirán con los estándares requeridos (válvula anti retorno, válvulas de aislamiento, purgadoras, indicadores de presión y de temperatura, accesorios de seguridad a nivel del tanque, etc.) [12].

3.3.2 Circuito Secundario

En la Figura 5 se esquematiza el circuito que conecta el acumulador con la olla pasteurizadora. El fluido que circule por el circuito secundario será con agua proveniente de la red.

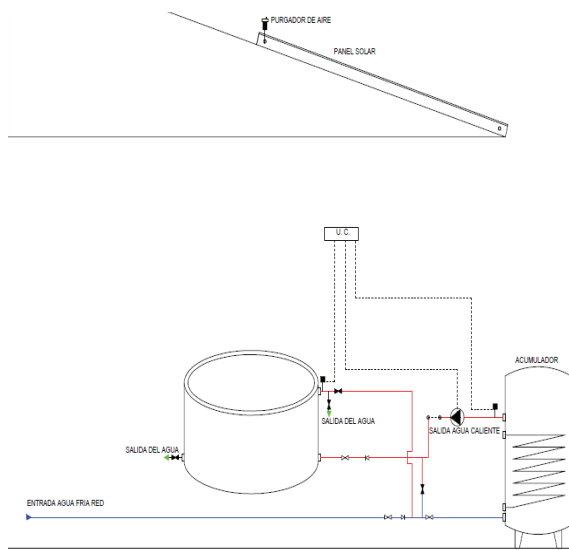


Figura 5: Circuito secundario de la quesera

El calor del circuito primario solar se transmite al circuito secundario por un intercambiador de calor a placas. Será de tipo sumergido a serpentín en el interior del acumulador. El agua caliente sale por la parte superior del acumulador, dirigida a la olla pasteurizadora, esta re-circula a través de la misma por medio de una bomba de apoyo, transmitiendo así la energía calorífica necesaria para el proceso de pasteurización de la materia prima.

3.4. Análisis técnico económico de la propuesta

3.4.1 Inversión

La inversión tiene: gastos directos, son valores fijos que se presentan a un inicio de la inversión, y los costos indirectos que son gastos variables que se ilustran en la Tabla 8.

Tabla 8. Rubros del sistema propuesto

Denominación	Subtotal (\$)	Denominación	Subtotal (\$)
Equipos	6.033,30	Materiales	288,00
Accesorios	1.465,36	Mano de obra	50,00
		Transporte	50,00
Costos fijos	7.498,66	Costos variables	388,00
TOTAL			7.886,66

El costo total es la suma de los costos fijos más los costos variables, por lo tanto el costo total del sistema propuesto es de 7.886,66 dólares.

3.4.2 Período de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de capital nos permite determinar en qué tiempo se recupera la inversión realizada, y para dicho estudio se requiere del ingreso neto o utilidad neta anual de las queseras de cada comunidad de la parroquia de San Juan.

En la Tabla 9 se ilustran los ingresos por la venta de quesos.

Tabla 9: Ingresos económicos en la quesera Santa Isabel

Producción	Ingresos brutos		
	Cantidad	Precio U. (\$)	Subtotal (\$)
Quesos Diarios	82,000	1,70	139,40
Quesos Mensuales	2.460	1,70	4.182,00
Quesos Anuales	29.520	1,70	50.184,00

En la Tabla 10 se ilustran los egresos por el pago de la materia prima para hacer los quesos artesanales que es la leche.

Tabla 10: Resumen del gasto Quesera Santa Isabel, queso fresco

Detalles	Egresos/Gastos	
	Subtotal mensual (\$)	Subtotal anual (\$)
Pago productores de leche	3.510,00	42.120,00
Pago empleado	200,00	2.400,00
Consumo de GLP	30,00	360,00
Insumos para producción de quesos	100,00	1.200,00
Transporte	80,00	960,00
TOTAL	3.920,00	47.040,00

El análisis económico que se hace a la Quesera Santa Isabel se ilustra en la Tabla 11 y se obtiene que el tiempo en el cual se recuperara la inversión realizada, siendo esta de 30 meses aproximadamente.

Tabla 11: Ingreso neto anual

Ingresos/Egresos	Valor (\$)
Ingresos brutos	50.184,00
Egresos o gastos	47.040,00
Ingreso neto	3.144,00

La expresión para el cálculo del tiempo de recuperación se describe a continuación:

$$PRC = \frac{\text{Inversión}}{\text{IngresoNeto}} = 2,51 \text{ años} \quad (15)$$

4. RESULTADOS

Luego de realizar la simulación del Sistema Termosolar en el software, se determinó que se requieren cuatro colectores solares necesarios en el proceso de pasteurización y un acumulador de 120 litros/día, como almacenamiento.

En la quesería, Santa Isabel, se considera un sistema auxiliar con GLP, esto compensará la baja radiación y poder llegar así a la temperatura requerida en el proceso de pasteurización.

En la Tabla 12 se esquematiza las demandas energéticas, los parámetros del proceso de pasteurización.

Los resultados ilustrados en la Tablas 13 indican que en el diseño propuesto al usar energía solar, contribuye eficazmente a la reducción de emisiones de CO₂.

Tabla 12: Resultados del sistema propuesto

Características	Propuesta
Capacidad Olla Pasteurizadora (Lts)	550
Leche (lts/día)	350 - 400
Temperatura de pasteurización de leche (°C)	65
Agua necesaria para pasteurización (Lts)	70
Temperatura máxima calentamiento (°C)	75
Consumo Energético a cubrir (85%) (MJ)	24,68
Intensidad Media (W/m ²)	684,50
Horas de trabajo (Insolación) (h)	6,00
Energía incidente (m ²)	11,60
Rendimiento de Colector (%)	27,04
Área a instalar de colectores (m ²)	10,04
Dimensiones del colector solar (m)	(1,56*2,38*0,090)
Tiempo de vida útil en años	20 -25

Tabla 13: Resumen de la emisión de CO₂ (del GLP)

Variables	Emisión de CO ₂ a la Atmósfera (Kg)		
	Día	Mes	Año
Calentador con GLP	20,25	607,50	7290,00
Sistema Auxiliar Propuesto (15%)	3,04	91,20	1094,40
Ahorro	17,21	516,30	6195,60

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La modelación del sistema termosolar propuesto predice una eficiencia aproximada del 25% similar al sistema actual con GLP.

La implementación el sistema termosolar propuesto reduciría un 85% las emisiones de CO₂.

La inversión del sistema propuesto equivale aproximadamente al 28% del costo de consumo de combustible sin subsidio para un periodo de 20 años (vida útil del sistema termosolar).

Se recomienda continuar con la investigación para que el sistema propuesto sea totalmente eficiente, en especial considerar la fiabilidad de los calentadores de tubos de vacío.

Se recomienda analizar la durabilidad y eficiencia de calefones termo solares ante los parámetros de temperatura y presión de la serranía ecuatoriana.

Se recomienda implementar automatismos para mejorar la eficiencia y control en dispositivos con seguidores solares, y otros componentes del sistema.

Se recomienda establecer políticas de incentivos económicos a la implementación de las tecnologías de las energías renovables a la pequeña y mediana industria.

Se recomienda que las Universidades desarrollen planes tecnológicos de energías renovables aplicables a la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Abhishek Bhatewara, "Application of Solar Thermal in Dairy Industry," 21-Nov-2012. [Online]. Available: https://www.irena.org/DocumentDownloads/events/2012/November/ManufacturingSouthAsia/7_Abhishek_D_Bhatewara.pdf. [Accessed: 04-Dec-2015].

- [2] FIRDAUS BIN MUHAMAD, "DEVELOPMENT OF SOLAR OVEN INCORPORATING THERMAL ENERGY STORAGE APPLICATION," Jun-2012.
- [3] Rabab Zahira, Hafiz Akif, Nasir Amin, Muhammad Azam, and Zia-ul-Haq, "FABRICATION AND PERFORMANCE STUDY OF A SOLAR MILK PASTEURIZER," 2009. [Online]. Available: <http://pakjas.com.pk/papers%5C114.pdf>. [Accessed: 15-Jul-2015].
- [4] Anderson T N and Duke M, "Solar Energy Use for Energy Savings in Dairy Processing Plants," 2008. [Online]. Available: <http://www.ipenz.org.nz/ipenz/Forms/pdfs/treNz14.pdf>. [Accessed: 04-Dec-2015].
- [5] GEA, "Dairy_Farm_Milk_Cooling.pdf," 2014. [Online]. Available: https://www.sce.com/NR/rdonlyres/025AEFAD-1BFB-46CA-852D-64B5B1E9BBAF/0/Dairy_Farm_Milk_Cooling.pdf. [Accessed: 15-Jul-2015].
- [6] Rabab Zahira, Hafiz Akif, Nasir Amin, Muhammad Azam, and Zia-ul-Haq, "FABRICATION AND PERFORMANCE STUDY OF A SOLAR MILK PASTEURIZER," vol. 46, 2009.
- [7] Modi. A. and Prajapat R., "Microsoft Word - 37-IJSTR-0614-9264 - Pasteurization-Process-Energy-Optimization-For-A-Milk-Dairy-Plant-By-Energy-Audit-Approach.pdf," vol. 3, Jun. 2014.
- [8] FRANCIS OBUORO WAYUA, MICHAEL W. OKOTH, and JOHN WANGO, "Design and performance assessment of a flat-plate solar milk pasteurizer," 06-Nov-2011. [Online]. Available: https://www.uonbi.ac.ke/john.wangoh/files/2011_-_design_and_performance_assessment_of_a_flat-plate_solar_milk_pasteurizer.pdf. [Accessed: 15-Jul-2015].
- [9] Energy, "Solar Systems Applications in the Dairy Industry," 2010.
- [10] Deepak D Desai, J.B. Raol, Sunil Patel, and Istiyak Chauhan, "Application of Solar energy for sustainable Dairy Development," 2013.
- [11] GEA, "Pasteurization Process Energy Optimization For a Milk Dairy Plant By

Energy Audit Approach.pdf," 2014. [Online]. Available: https://www.sce.com/NR/rdonlyres/025AEFAD-1BFB-46CA-852D-64B5B1E9BBAF/0/Dairy_Farm_Milk_Cooling.pdf. [Accessed: 15-Jul-2015].

- [12] Modi. A. and Prajapat R., "Microsoft Word - 37-IJSTR-0614-9264 - Pasteurization-Process-Energy-Optimization-For-A-Milk-Dairy-Plant-By-Energy-Audit-Approach.pdf," vol. 3, Jun. 2014



José Muñoz Cargua.- Nació en Riobamba, Ecuador, 1964. Recibió su título de Físico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en 1993, de Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad de Zaragoza,

Zaragoza en 2003. Máster en Matemática Aplicada y Simulación Numérica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en 2008. Sus campos de investigación están relacionados con energía: Termosolar de baja temperatura, Fotovoltaica y Eólica.



Carmen Elena Mantilla.- Nació en Riobamba-Ecuador en 1981. Recibió su título de Ingeniera Electrónica y Computación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en 2008. Actualmente, se encuentra cursando sus estudios de Maestría en la

ESPOCH en Seguridad Telemática, y su campo de investigación se encuentra relacionado con las Energías Renovables.



Henry Bayas.- Nació en Mocha-Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniero Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en 2011. Desarrollo su tema de tesis en el área de aplicaciones de la energía termosolar de baja

temperatura.